

CFG 3025 VS

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 9月28日

出 願 番 号

Application Number

特願2001-301663

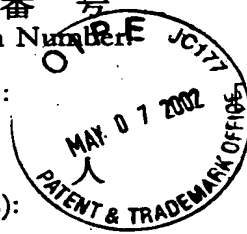
[ ST.10/C ]:

JP2001-301663]

出 願

Applicant(s):

キヤノン株式会社

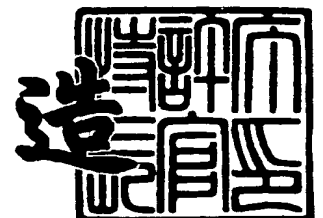


RECEIVED  
MAY -8 2002  
TECHNOLOGY CENTER 2800

2002年 3月15日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3016844

【書類名】 特許願

【整理番号】 4529004

【提出日】 平成13年 9月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 26/10  
G02B 27/17  
G11B 21/10  
G01L 3/10  
B62D 5/04  
B81B 3/00

【発明の名称】 マイクロ構造体、マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器、光走査型ディスプレイ、及びそれらの製造方法

【請求項の数】 32

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 加藤 貴久

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 安田 進

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 廣瀬 太

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 八木 隆行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 水谷 英正

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 島田 康弘

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

【識別番号】 100086483

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 一男

【電話番号】 0471-91-6934

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 47296

【出願日】 平成13年 2月22日

【手数料の表示】

【納付方法】 予納

【予納台帳番号】 012036

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

特 2 0 0 1 - 3 0 1 6 6 3

【包括委任状番号】 9704371

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 マイクロ構造体、マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器、光走査型ディスプレイ、及びそれらの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、少なくとも一つ以上の揺動体を有し、前記揺動体が複数のトーションバーから成る一組以上のトーションスプリングによって前記基板に対して弾性的に揺動自由に支持されているマイクロ構造体において、一組のトーションスプリングは、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置され、該長軸に垂直な面の断面形状が扁平であり、最も撓みやすい方向が交差するように配置された少なくとも 2 つのトーションバーを含むことを特徴とするマイクロ構造体。

【請求項 2】 一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーが、長軸に垂直な断面で切断したときに、断面形状が左右対称な形態になる様に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロ構造体

【請求項 3】 一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーが、長軸に垂直な断面で切断したときに、断面形状が上下左右対称な形態になる様に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロ構造体

【請求項 4】 前記トーションバーの材質が単結晶材料から成ることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 5】 前記単結晶材料がシリコン単結晶であることを特徴とする請求項 4 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 6】 前記基板、揺動体、トーションスプリングが共通の基板から一体的に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 7】 (1 0 0) シリコン基板が用いられ、トーションスプリングが該シリコン基板の異方性エッチングで形成されて、その外面を画する該 (1 0 0) シリコン基板面に対する斜面が (1 1 1) 面であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 8】 前記基板或いは揺動体に繋がるトーションスプリングの付け根部

の外面を画する該 (1 0 0) シリコン基板面に対する面が (1 1 1) 面であることを特徴とする請求項 7 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 9】前記トーションスプリングの横断面形状が逆ハ或いはハの字形状であることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 0】平板状基板が用いられ、トーションスプリングが該平板状基板の深堀リエッチングで形成されて、その外面を画する面が該平板状基板面とこの面に対する垂直面或いは平行面から成ることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 1】前記トーションスプリングの横断面形状が逆ハ或いはハの字状、十字状、或いは H 字状であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 0 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 2】前記トーションスプリングの角部が等方性エッチングで軽く丸くされて、前記トーションスプリングの角部への応力集中が緩和されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 1 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 3】前記揺動体を支持する 2 組以上のトーションスプリングの断面形状を、夫々揺動体を挟んで対向するトーションスプリングについて異なる形状とすることを特徴とする請求項 1 乃至 1 2 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 4】前記揺動体を挟んで対向するトーションスプリングの断面形状を、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含む面に対して互いに対称に配置することを特徴とする請求項 1 3 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 5】前記揺動体が平板状揺動板であり、該揺動板を挟んで対向するトーションスプリングの断面形状を、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含み該揺動板に平行な面に対して互いに対称に配置することを特徴とする請求項 1 4 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 6】前記揺動体が一つであり、直線にほぼ沿って伸びた一組ないし 2 組のトーションスプリングによって該揺動体が前記基板に対して弾性的に略該直線の回りに揺動自由に支持されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 7】前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体が入れ子式に配置さ

れ、各揺動体が、各直線にほぼ沿って伸びた 2 組のトーションスプリングによって、その外側の揺動体或いは前記基板に対して弾性的に略該各直線の回りに揺動自由に支持されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 8】前記各直線が互いに角度を成して伸びていることを特徴とする請求項 1 7 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 9】前記角度が 9 0 度であることを特徴とする請求項 1 8 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 2 0】前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体がトーションスプリングを介在させて直列的に配置され、最も外側の揺動体が前記基板にトーションスプリングを介在させて支持されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 2 1】請求項 1 乃至 2 0 の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記基板と前記揺動体の相対変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とするマイクロ力学量センサ。

【請求項 2 2】請求項 1 乃至 2 0 の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段を有することを特徴とするマイクロアクチュエータ。

【請求項 2 3】前記駆動手段が、固定コアと、該固定コアを周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コアからなる電磁アクチュエータであることを特徴とする請求項 2 2 に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 2 4】請求項 1 乃至 2 0 の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段と、前記揺動体に設けられた光反射手段を有することを特徴とするマイクロ光偏向器。

【請求項 2 5】前記駆動手段が、固定コアと、該固定コアを周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コアからなる電磁アクチュエータであることを特徴とする請求項 2 4 に記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 2 6】前記光反射手段が、光反射面或いは回折格子であることを特徴とする請求項 2 4 または 2 5 に記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 2 7】請求項 2 4 乃至 2 6 の何れかに記載のマイクロ光偏向器と、変調可能な光源と、前記光源の変調と前記マイクロ光偏向器の揺動体の動作を制御する制御手段を有することを特徴とする光走査型ディスプレイ。

【請求項 2 8】請求項 7 乃至 9 の何れかに記載のマイクロ構造体の製造方法であって、(1 0 0) シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターニングする工程と、前記(1 0 0) シリコン基板を異方性エッチングする工程を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 2 9】前記異方性エッチングをアルカリ溶液を用いて行うことを特徴とする請求項 2 8 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 3 0】請求項 1 0 または 1 1 に記載のマイクロ構造体の製造方法であって、基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターニングする工程と、前記基板を片面より深掘りエッチングする工程と、前記基板を他面より深掘りエッチングする工程を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 3 1】前記基板がシリコン基板であることを特徴とする請求項 3 0 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 3 2】前記トーションスプリングの角部を軽く等方性エッチングして、そこを丸くし、そこへの応力集中を緩和する工程を更に含むことを特徴とする請求項 2 8 乃至 3 1 の何れかに記載のマイクロ構造体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、マイクロマシンないしマイクロ構造体の分野に関するものである。より詳しくは、ねじり中心軸回りに揺動する部材を有するマイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器等に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

機械要素を小型化しようとする、と、体積力よりも、表面力の占める割合が大き



くなり、摩擦の影響が通常の大きさの機械よりも大きくなることは良く知られている。そのため、マイクロマシンの設計においては、摺動部や回転部を極力少なくするように考慮するのが一般的である。

## 【0003】

ここで、軸回りに揺動する部材を有する光偏向器の従来例を説明する。図23は、米国特許第4317611号明細書に開示された光偏向器の斜視図を示している。図24は、その内部構造を説明するために、上記光偏向器を分解して表示した図である。また、図25と図26は、それぞれ、図23の切断線1003と1006におけるシリコン薄板1020の断面図を示している。

## 【0004】

上記光偏向器において、絶縁性材料からなる基板1010には、凹み部1012が形成されている。凹み部1012の底部には、一对の駆動電極1014、1016およびミラー支持部1032が配置されている。シリコン薄板1020には、トーションバー1022、1024とミラー1030が一体に形成されている。ミラー1030は、表面に光の反射率の高い物質がコーティングされており、トーションバー1022、1024により揺動自由に支持されている。そして、シリコン薄板1020は、駆動電極1014、1016と所定の間隔を保つように基板1010上に対抗配置されている。

## 【0005】

ここにおいて、シリコン薄板1020は、電氣的に接地されている。従って、駆動電極1014、1016に交互に電圧を印加することで、ミラー1030に静電引力を作用させて、ミラー1030をトーションバー1022、1024の長軸の回りに揺動させられる。

## 【0006】

トーションバー1022、1024の断面形状は、図26に示すような台形である。ところが、この様な断面形状のトーションバーを有するマイクロ構造体は、トーションバーが撓みやすいため、外部の振動を拾ってしまったり、トーションバーの軸がぶれてしまい、正確な駆動ができないという問題点があった。

## 【0007】

そのため、このような光偏向器を光走査型ディスプレイに適用した場合に、外部振動によって像がぶれたり、スポット形状が変化してしまうという問題点があった。これは、光走査型ディスプレイを持ち運び容易な形態にした場合に、より大きな問題となる。

## 【0008】

そこで、トーションバーを撓みにくくするために、次のような構造が提案されている。図27は、10th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '99) pp.1002-1005にて開示されたハードディスクヘッド用ジンバルである。このジンバルは、ハードディスクヘッド用サスペンションの先端に取り付けられ、磁気ヘッドにロールとピッチの動きを弾性的に許容させるためのものである。ジンバル2020は、内側にロールトーションバー2022、2024で回転自由に支持された支持棒2031を有している。また、支持棒2031の内側には、ピッチトーションバー2026、2028で回転自由に支持されたヘッド支持体2030が形成されている。ロールトーションバー2022、2024とピッチトーションバー2026、2028のねじれの軸（図27の直交する鎖線参照）は、互いに直交しており、それぞれ、ヘッド支持体2030のロールとピッチの動きを担当している。

## 【0009】

図28は、図27中の切断線2006における断面図である。図28に示すように、トーションバー2022の断面形状はT字形状をしており、また、ジンバル2020はリブを有する構造になっている。

## 【0010】

図29を用いて、本ジンバルの作製工程を説明する。まず、型取り用シリコンウエハー2091に、ICP-RIE（誘導結合プラズマ反応性イオンエッチング）のようなエッチング法を用いて、垂直エッチングを行う（a）。この型取り用シリコンウエハー2091は、再利用が可能である。次に、型取り用シリコンウエハー2091の上に、シリコン酸化膜とリン酸化ガラスからなる犠牲層2092を成膜する（b）。続いて、構造体となるポリシリコン層2093を成膜する（c）。そして、このポリシリコン層2093のパターニングを行う（d）。最後

に、犠牲層 2 0 9 2 を除去し、パターニングされたパッド 2 0 9 5 にエポキシ樹脂 2 0 9 4 でポリシリコン層 2 0 9 3 を接着する (e)。

#### 【 0 0 1 1 】

この様にして作製された T 字断面を有するトーションバーは、円断面や長方形断面のような断面形状を有するトーションバーと比べて、断面二次極モーメント J が小さいわりに、断面二次モーメント I が大きいという特徴がある。そのため、比較的ねじれやすい割りに、撓みにくいトーションバーを提供できる。つまり、ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保しながら、ねじれの軸に垂直な方向には剛性の高いトーションバーを提供できる。

#### 【 0 0 1 2 】

また、必要なコンプライアンスや許容ねじれ角を得るための長さが短いトーションバーを提供できるため、より小型化できるという利点もある。

#### 【 0 0 1 3 】

こうして、この T 字断面を有するトーションバーを用いることで、ロール、ピッチ方向に十分なコンプライアンスを持ち、その他の方向には十分な剛性を有し、より小型化が可能なマイクロジンバルを提供できる。

#### 【 0 0 1 4 】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、このマイクロ構造体には、次のような問題点があった。

1. T 字形状断面を有するトーションバーは、振れたときに図 2 8 の 2 0 5 0 の部分において応力の集中が生じるために壊れやすい。
2. T 字形状断面を有するトーションバーは、ねじりの中心と重心軸の中心が一致していない。そのため、揺動時にねじれの軸に垂直な方向の加振力を生じてしまう。そのため、駆動時に不要な動きが生じてしまう。
3. ポリシリコンは、単結晶シリコンに比べて内部損失が大きいいため、機械的な Q 値が低くなってしまう。そのため、機械的な共振を利用して駆動する際に、振動振幅を大きくできない。また、損失が大きいいためエネルギー効率が低い。

#### 【 0 0 1 5 】

本発明の目的は、この様な問題点を解決した、軸回りに揺動する部材を有する

マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器等に適用できるマイクロマシンないしマイクロ構造体、その製造方法を提供することにある。

#### 【0016】

##### 【課題を解決するための手段】

上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体は、基板と、少なくとも一つ以上の揺動体を有し、前記揺動体が複数のトーションバーから成る一組以上のトーションスプリングによって前記基板に対して弾性的に揺動自由に支持されているマイクロ構造体において、一組のトーションスプリングは、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置され、該長軸に垂直な面の断面形状が扁平であり、最も撓みやすい方向が交差するように配置された少なくとも2つのトーションバーを含むことを特徴とする。

#### 【0017】

複数のトーションバーが、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置されれば、ねじれの軸に垂直な方向のたわみに対して相互に補強し合うので、この方向の加振力が生じにくくなる。また、複数のトーションバーでトーションスプリングを構成するので、各トーションバーの断面形状を比較的単純な形（典型的には、単純な扁平形状）にできて、応力の集中が起こる部分が生まれにくくなって壊れにくくなる。

#### 【0018】

また、一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーは、互いに最も撓みやすい方向が交差するように配置された少なくとも2つのトーションバーを含むので、ねじれの軸に垂直な方向のたわみに対してより有効に相互に補強し合うので、この方向の加振力がより生じにくくなる。

#### 【0019】

結局、本発明の構成では、一組のトーションスプリングを構成する複数のトーションバーが、断面形状が扁平であり最も撓みやすい方向が交差するように並列的に配置された少なくとも2つのトーションバーを含む。

#### 【0020】

以上の基本構成に基づいて、以下の如きより具体的な形態が可能である。

一組のトーションスプリングを構成する前記複数のトーションバーが、長軸に垂直な断面で切断したときに、断面形状が左右対称な形態になる様に配置されていたり（図 4 参照）、断面形状が上下左右対称な形態になる様に配置されていたりする（図 1 1、図 1 7 参照）。しかし、必要であれば、断面形状が左右非対称な形態の逆ハ或いはハの字形状のトーションスプリングや、断面形状が上下或いは左右非対称な形態の十字形状、H 字形状のトーションスプリングにしてもよい。

#### 【 0 0 2 1 】

典型的には、前記トーションバーの材質がシリコン単結晶、水晶などの単結晶材料から成る。また、前記基板、揺動体、トーションスプリングは、共通のシリコン単結晶、水晶などの単結晶材料基板からエッチングなどで一体的に形成され得る。

#### 【 0 0 2 2 】

また、(1 0 0) シリコン基板が用いられて、トーションスプリングが該 (1 0 0) シリコン基板の異方性エッチングで形成されて、その外面を画する該 (1 0 0) 基板面に対する斜面が (1 1 1) 面である様にできる。この際、前記基板或いは揺動体に繋がるトーションスプリングの付け根部の外面を画する (1 0 0) 基板面に対する面も、(1 1 1) 面である様にできる。(1 1 1) 面は高精度且つ滑らかに形成されるので、作製されたトーションスプリングは破断し難いものとなる。更に、トーションスプリングの付け根部分の面も (1 1 1) 斜面とすれば、ここへの応力集中が緩和できて、トーションスプリングの信頼性を高められる。

#### 【 0 0 2 3 】

また、シリコンなどの平板状基板が用いられて、トーションスプリングが該平板状基板の ICP-RIE などを用いる深掘リエッチングで形成されて、その外面を画する面が該平板状基板面とこの面に対する垂直面或いは平行面から成る様にもできる。

#### 【 0 0 2 4 】

トーションスプリングの横断面形状としては、逆ハ或いはハの字状、十字状、H字状などの形状がある。

## 【 0 0 2 5 】

前記トーションスプリングの角部が等方性エッチングで軽く丸くされて、そこへの応力集中が緩和されてもよい。

## 【 0 0 2 6 】

前記揺動体を支持する 2 組以上のトーションスプリングの断面形状を、夫々揺動体を挟んで対向するトーションスプリングについて異なる形状とすることもできる。これにより、ねじれのコンプライアンスを十分に保ちながら、ねじれの軸に垂直な方向に更に撓みにくい構造とすることができる。すなわち、この構造では、揺動体を挟んで対向する夫々のトーションスプリングの撓みやすい方向が異なっているため、マイクロ光偏向器などのマイクロ構造体では不要となる揺動体のこの方向への振動や変位を低減することが出来る。

## 【 0 0 2 7 】

より典型的には、前記揺動体を挟んで対向するトーションスプリングの断面形状を、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含む面に対して互いに対称に配置することができる。これの代表例は、前記揺動体が平板状揺動板（マイクロ光偏向器では、通常、この平面部に反射面が形成される）であり、該揺動板を挟んで対向するトーションスプリングの断面形状を、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含み該揺動板に平行な面に対して互いに対称に配置することである。これにより、互いのトーションスプリングの撓みやすい方向を対称に交差させることができる。したがって、ねじれの軸に垂直な方向に効果的に撓みにくい構造とすることができ、上記基本の構成の好ましい形態となる。

## 【 0 0 2 8 】

マイクロ構造体の形態としては、前記揺動体の一つであり、直線にほぼ沿って伸びた一組ないし 2 組のトーションスプリングによって該揺動体が前記基板に対して弾性的に略該直線の回りに揺動自由に支持されている形態を採り得る。2 組のトーションスプリングの形態は後述の実施例に説明されているが、揺動体が充分軽量で一組のトーションスプリングで支障なく揺動自由に支持され得る場合に

は、こうした形態も用途に応じて使用できる。

【 0 0 2 9 】

他のマイクロ構造体の形態としては、前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体が入れ子式に配置され、各揺動体が、各直線にほぼ沿って伸びた 2 組のトーションスプリングによって、その外側の揺動体或いは前記基板に対して弾性的に略該各直線の回りに揺動自由に支持されている形態も採り得る。2 つの揺動体が入れ子式に配置された例は図 2 7 に示されている。必要であれば、3 つ以上の揺動体が入れ子式に配置された形態も実現できる。前記各直線が互いに成す角度は、典型的には 9 0 度であるが（図 2 7 の例参照）、これも、必要であれば 9 0 度以外の角度であってもよい。

【 0 0 3 0 】

更なる他のマイクロ構造体の形態としては、前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体がトーションスプリングを介在させて直列的に配置され、最も外側の揺動体が前記基板にトーションスプリングを介在させて支持されている形態も採り得る。例えば、比較的小質量の揺動体をトーションスプリングを介在させて比較的大質量の揺動体で挟み、両側の大質量の揺動体をトーションスプリングを介在させて基板に繋げ、これら 3 つのトーションスプリングを一直線にほぼ沿って伸びる形態として、この形態において、大質量の揺動体の駆動で小質量の揺動体を間接的に駆動する。いずれにせよ、本発明のマイクロ構造体は、一組のトーションスプリングが、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置され、該長軸に垂直な面の断面形状が扁平であり、最も撓みやすい方向が交差するように配置された少なくとも 2 つのトーションバーを含むことに特徴があり、その形態は用途に応じて種々のものであり得る。

【 0 0 3 1 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ力学量センサは、上記のマイクロ構造体と、基板と揺動体の相対変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とする。変位検出手段としては、従来公知のものを使用して、例えば、静電容量の変化を電圧変化で検知して基板と揺動体の相対変位を検出するものがある。その具体例としては、特開平 8 - 1 4 5 7 1 7、特開 2 0 0 0 - 6 5 6

64、特開 2 0 0 0 - 2 9 2 4 3 4 号公報などに開示されている。

【 0 0 3 2 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロアクチュエータは、上記のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段を有することを特徴とする。前記駆動手段としては、固定コアと、該固定コア（軟磁性体で形成されたりする）を周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コア（軟磁性体或いは硬磁性体の永久磁石で形成されたりする。両者では駆動原理が異なり、前者では、軟磁性体の磁極は決まっておらず、固定コアに磁束が発生する時には磁気回路の磁束を切る軟磁性体の断面積の増す方向に磁束内へ軟磁性体が吸引される駆動力が起こり、磁束消滅時にはそれから解放されるのに対して、後者では、硬磁性体の磁極は決まっており、異或いは同磁極間の磁力（吸引力或いは反発力）が駆動力である）からなる電磁アクチュエータであったり、静電引力を利用するものであったりする。

【 0 0 3 3 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ光偏向器は、上記のマイクロ構造体と、揺動体を基板に対して相対的に駆動する駆動手段と、前記揺動体に設けられた光反射手段を有することを特徴とする。駆動手段については、上で述べた通りである。光反射手段としては、光反射面或いは回折格子があり、後者では 1 つのビームを複数のビーム（回折光）として偏向することもできる。

【 0 0 3 4 】

更に、上記問題点を解決するための本発明の光走査型ディスプレイは、上記のマイクロ光偏向器と、変調可能な光源（半導体レーザなど）と、前記光源の変調と前記マイクロ光偏向器の揺動体の動作を制御する制御手段を有することを特徴とする。

【 0 0 3 5 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体の製造方法は、（ 1 0 0 ）シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターニングする工程と、前記（ 1 0 0 ）シリコン基板をアルカリ溶液などを用いて異方性エッチングする



工程を含むことを特徴とする。

【 0 0 3 6 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体の他の製造方法は、シリコン基板などの材料基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターニングする工程と、前記材料基板を片面よりICP-RIEなどを用いて深掘リエッチングする工程と、前記材料基板を他面よりICP-RIEなどを用いて深掘リエッチングする工程を含むことを特徴とする。

【 0 0 3 7 】

これらのマイクロ構造体の製造方法において、前記トーションスプリングの角部を軽く等方性エッチングして、そこを丸くし、そこへの応力集中を緩和してもよい。

【 0 0 3 8 】

【作用】

本発明のマイクロ構造体の作用について説明する。

図 2 1 は、断面形状が偏平なトーションバーの例として、断面形状が楕円の場合を図示している。図 2 1 のような断面形状が楕円のトーションバーは、楕円の短軸の方向に最も撓みやすく（断面二次モーメントが極小）、楕円の短軸の方向に最も撓みにくい（断面二次モーメントが極大）。一般に、断面二次モーメントが極値を取る方向は 2 つあり、これらの方向は互いに直交することが知られている。

【 0 0 3 9 】

本発明のマイクロ構造体においては、断面形状が偏平形状である比較的単純な形状の複数のトーションバーを、最も撓みやすい方向が交差するように組み合わせることで、撓みにくい構造を実現している。

【 0 0 4 0 】

また、本発明のマイクロ構造体においては、単純な形状の複数のトーションバーであるので、T字断面を有するトーションバーのように応力集中が生じる点が生じにくいため、同じねじりばね定数、同じ長さのトーションスプリングを考え

たときに、より壊れにくい。また、同じ許容ねじり角で考えると、T字断面のトーションバーと比べて、より短いトーションスプリングを実現することができる。

【 0 0 4 1 】

また、本発明のマイクロ構造体において、断面形状が上下左右対称形状になる様に断面形状が偏平なトーションバーを組み合わせると、ねじれの軸の中心を、トーションスプリングの重心軸中心に容易に一致させることができるため、揺動したときにねじれの軸に垂直な方向の加振力が更に効果的に生じないようにできる。

【 0 0 4 2 】

また、本発明のマイクロ構造体において、単結晶材料を素材に使用するとき、単結晶材料はポリシリコンに比べて内部損失が小さいため、機械的なQ値を大きくすることができる。そのため、機械的な共振を利用する際に振動振幅を大きくでき、また、エネルギー効率が高くなる。単結晶材料としては、入手の容易で機械特性に優れた（すなわち、比較的軽量でありながら物理的強度、耐性、寿命に優れた）単結晶シリコンを使用するのが好適である。

【 0 0 4 3 】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施の形態を明らかにすべく、図面を参照しつつ実施例を説明する。

【 0 0 4 4 】

[実施例1]

図1は、本発明の実施例1のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図である。図2は、内部構造を説明するために、上記マイクロ光偏向器を分解して示した図である。図3は、本実施例のマイクロ光偏向器の動作を説明するための断面図である。図4は、本実施例の特徴であるトーションスプリングの構造を説明するための、図1の切断線106におけるシリコン単結晶薄板120の断面図を示している。

【 0 0 4 5 】

実施例 1 のマイクロ光偏向器において、ガラス基板 1 1 0 には、凹み部 1 1 2 が形成されている。凹み部 1 1 2 の底部には、一对の駆動電極 1 1 4、1 1 6 および三角柱状のミラー支持部 1 3 2 が配置されている。ミラー支持部 1 3 2 は、より安定的な揺動を実現する為に設けられているが、これは省き得る。シリコン単結晶薄板 1 2 0 には、バルクマイクロマシニング技術により、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 とミラー 1 3 0 が、一体に形成されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 は、偏平トーションバー 1 2 2、1 2 3；1 2 4、1 2 5 が図 4 に示す様に 2 本ずつ組になって、断面形状が逆ハの字形状に配置されることで構成されている。

## 【 0 0 4 6 】

ミラー 1 3 0 は、平板の表面に光の反射率の高い物質がコーティングされて形成されており、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 により揺動自由に支持されている。そして、シリコン単結晶薄板 1 2 0 は、ミラー 1 3 0 が駆動電極 1 1 4、1 1 6 と所定の間隔を保つようにガラス基板 1 1 0 上に対抗配置されている。トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 のねじり軸に沿ったミラー 1 3 0 の下面はミラー支持部 1 3 2 の頂線部に接していて、該頂線部に沿う揺動軸の回りでミラー 1 3 0 が揺動可能になっている。

## 【 0 0 4 7 】

シリコン単結晶薄板 1 2 0 は、電氣的に接地されている。従って、駆動電極 1 1 4、1 1 6 に交互に電圧を印加することで、ミラー 1 3 0 に静電引力を作用させて上記揺動軸の回りにミラー 1 3 0 を揺動させることができる。駆動力は静電引力に限らず、磁気力などを使うこともできる。この場合は、駆動電極の代わりに電磁石を設置してミラー 1 3 0 の下面に硬磁性材料の永久磁石を固定するなどの構成をとることになる。

## 【 0 0 4 8 】

上記光偏向器の作製法について、図 6 と図 7 を用いて、以下に詳しく述べる。

図 6 (a) ~ (e) は図 1 の切断線 1 0 6 における断面を表し、図 7 (a) ~ (e) は、図 2 の切断線 1 0 9 における断面を表している。

## 【 0 0 4 9 】

先ず、図 6 に沿ってシリコン単結晶薄板 1 2 0 の加工について述べる。

1. シリコン単結晶薄板 1 2 0 の両面に、マスク層 1 5 0 (例えば、 $\text{SiO}_2$  や低圧化学気相成長法で作製した窒化シリコン等) を成膜する。シリコン単結晶薄板 1 2 0 には、(1 0 0) 基板を使用する。そして、フォトリソグラフィ技術で、マスク層 1 5 0 のパターニングを行う (a)。このマスクパターンは、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の部分では、基板 1 2 0 上面側と下面側にそれぞれ幅  $W_a$  と幅  $W_b$  のストライプ状開口が形成されている。幅  $W_b$  のストライプ状開口はストライプ状マスク層 1 5 0 を挟んで一対形成され、幅  $W_a$  のストライプ状開口は該ストライプ状マスク層に対応する上面個所に 1 つ形成されている。幅  $W_a$  は 2 つのトーションバー 1 2 2、1 2 3 ; 1 2 4、1 2 5 の最上部の間隔に設定され、幅  $W_b$  の二つの開口の間のストライプ状のマスク層 1 5 0 の幅は 2 つのトーションバー 1 2 2、1 2 3 ; 1 2 4、1 2 5 の最底部の間隔に設定される。このマスクパターンでは、ミラー 1 3 0 の外形に沿って適当な幅の開口部も基板 1 2 0 上面側に形成されている。

#### 【 0 0 5 0 】

2. KOH のようなアルカリ溶液である異方性エッチング溶液を用いて、シリコン単結晶薄板 1 2 0 の両面からエッチングを行う。シリコンの異方性エッチングは、(1 0 0) 面で速く進み、(1 1 1) 面で遅く進むため、エッチングは、まず、掘り進むにつれて開口部が狭くなるように進行する (b、c)。

#### 【 0 0 5 1 】

3. 両面から基板 1 2 0 を貫通するまでエッチングが進行し、マスク層 1 5 0 でストップする (d)。図 5 に示すように、シリコンの (1 1 1) 面は、(1 0 0) 面に対して、5 4 . 7 度の角度を有するため、開口部の幅  $w$  と V 溝の深さ  $d$  の関係は、 $d = w / 2 \cdot \tan 54.7^\circ$  である。従って、基板 1 2 0 を貫通するためには、 $W_a, W_b > 2 t / \tan 54.7^\circ$  の関係を満たす必要がある。ここで、 $t$  はシリコン単結晶薄板 1 2 0 の厚みである。

#### 【 0 0 5 2 】

この際、(1 1 1) 面は高精度且つ滑らかに形成されるので、作製された逆ハの字断面形状のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 は破断し難いものとなる。

更に、上記異方性エッチングにより、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の付け根部分の V 溝の面（図 2（a）に 1 2 8 a、1 2 9 a で示す）も図 2（b）（図 2（a）の切断線 1 9 0 におけるシリコン単結晶薄板 1 2 0 の断面図）に示すように（1 1 1）斜面となるので、ここへの応力集中が緩和できて、トーションスプリングの信頼性を高め、ミラーの光偏向角を大きくできる。

## 【0 0 5 3】

4. 上記異方性エッチング後、ガスや酸により等方性エッチングを行い、トーションスプリングの角部の角を丸くしてもよい。こうすれば、これらの部分への応力集中を緩和できる。

## 【0 0 5 4】

5. 次に、マスク層 1 5 0 を除去する（e）。

6. 最後に、ミラー 1 3 0 を洗浄し、表面に光反射膜を成膜する。

## 【0 0 5 5】

続いて、図 7 に沿ってガラス基板 1 1 0 の加工法について述べる。

1. ガラス基板 1 1 0 の両面にマスク層 1 5 1（レジスト等）を成膜する（a）。

## 【0 0 5 6】

2. マスク層 1 5 1 をパターニングする（b）。三角柱状のミラー支持部 1 3 2 と凹み部 1 1 2 がエッチングで形成される様にパターニングする。

3. 凹み部 1 1 2 の深さが  $25\mu\text{m}$  になるように、エッチングを行う（c）。このとき、三角柱状のミラー支持部 1 3 2 が形成される。

## 【0 0 5 7】

4. マスク層 1 5 1 を除去し、凹み部 1 1 2 に所定のパターンの駆動電極 1 1 4、1 1 6 を形成する（d）。

5. 図 1 に示すようなマイクロ光偏向器の形態になるように、シリコン単結晶薄板 1 2 0 とガラス基板 1 1 0 を接合する（e）。

## 【0 0 5 8】

以上のように、本実施例の製造方法によれば、異方性エッチングを 1 度行うだけで、偏平断面を有するトーションバー 1 2 2、1 2 3；1 2 4、1 2 5 を逆ハ

の字形状に組み合わせたトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 を製造することができる。

#### 【 0 0 5 9 】

図 4 に示すように、本実施例の光偏向器のトーションスプリング 1 2 8 ( 1 2 9 ) においては、2 本の偏平トーションバー 1 2 2 ( 1 2 4 ) と 1 2 3 ( 1 2 5 ) が、互いに  $70.6^{\circ}$  の角度を持って配置されている。つまり、偏平トーションバーの最も撓みやすい(曲げ剛性が低い)方向が、平行にならないように組み合わせられているため、トーションスプリング全体として、曲げ剛性が高い構造となっている。

#### 【 0 0 6 0 】

本実施例によれば、T 字断面のトーションバーと異なり、大きな応力集中が生じないので、同じねじりばね定数、同じ長さのトーションスプリングを考えたときに、より壊れにくいマイクロ構造体を実現できる。また、本実施例によれば、同じ許容ねじり角で考えると、T 字断面のトーションバーと比べて、より小型化が可能なマイクロ構造体を実現できる。更に、単結晶シリコンを素材に使用することで、ポリシリコンに比べて機械的な Q 値が大きなマイクロ構造体を実現できる。

#### 【 0 0 6 1 】

そして、本実施例によれば、より壊れにくく、より小型化が可能で、共振駆動したときに振動振幅が大きいマイクロ光偏向器を実現できる。更に、本実施例の製造方法を用いることで、比較的容易に本発明のマイクロ構造体を製造することができる。

#### 【 0 0 6 2 】

実施例 1 の変形例を図 8 を用いて説明する。図 8 は、本発明の実施例 1 の変形例のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図 ( a ) 及び断面図 ( b ) である。この変形例では、トーションバーは基板面およびシリコンの ( 1 1 1 ) 面で囲まれた偏平断面を有しており、これが逆ハ及びハの字状に 2 枚組み合わせられてトーションスプリング 5 2 8、5 2 9 となっている。尚、反射面 5 3 0 及び枠体 5 2 0 の側面形状は、シリコンの ( 1 1 1 ) 面が露出した形状となるが、図 8 では簡

単のために反射面 5 3 0 に対して垂直な側面として描いてある。これは他の図面でも同様である。

## 【 0 0 6 3 】

本変形例のマイクロ光偏向器は、図 8 (b) に示すように、トーションバーの A - A' 断面の形状と B - B' 断面の形状とが、基板面に平行な面（より正確には、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含み反射面 5 3 0 に平行な面）に対して互いに対称な形状になっている。これにより、ねじれ共振駆動時に、一方のトーションバー構造に起因して発生する撓み振動等の不要な運動モードや外乱による影響を他方のトーションバー構造で相殺することができ、駆動安定性を向上させることができる。

## 【 0 0 6 4 】

本変形例によるマイクロ光偏向器では、上記実施例 1 と同様に（他方のトーションバー構造について図 6 のマスク層 1 5 0 のパターンを変える（上下を逆にする）のみでよい）、異方性エッチングを 1 度行うだけで、偏平断面を有するトーションバーを組み合わせたトーションスプリング 5 2 8、5 2 9 を容易に製造することができる。

## 【 0 0 6 5 】

本変形例においては、プロセスが容易であり、2 組のトーションスプリングの断面形状が互いに異なることにより、上述した様にそれぞれのトーションスプリングに起因する駆動時の外乱等の影響を相殺させることができ、トーションバーに応力集中部分がなく、破壊しにくい構造であるマイクロ光偏向器を提供することができる。

## 【 0 0 6 6 】

## [ 実施例 2 ]

図 9 は、本発明の実施例 2 の加速度センサを説明するための斜視図である。また、図 1 0 は、内部構造を説明するために、上記加速度センサを分解して表示した図である。また、図 1 1 は、図 9 の切断線 2 0 6 におけるシリコン薄板 2 2 0 の断面図を示している。

## 【 0 0 6 7 】

本実施例の加速度センサにおいて、絶縁性基板 2 1 0 には、凹み部 2 1 2 が形成されている。凹み部 2 1 2 の底部には検出電極 2 1 6 が配置されている。シリコン薄板 2 2 0 には、一对のトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 と可動部材 2 3 0 が、一体に形成されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 は、それぞれ、偏平トーションバー 2 2 1 ~ 2 2 3、2 2 4 ~ 2 2 6 が、図 1 1 に示すように 3 本ずつ断面形状が H 字形状に組み合わせられて配置されている。図 1 1 より分かるように、それぞれのトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 は、偏平トーションバーの曲げ剛性が低い方向が全て平行にならないように配置されることで構成されており、また、上下左右が対称である。

## 【 0 0 6 8 】

可動部材 2 3 0 は、トーションスプリング 2 2 8、2 2 9 によりその長軸の回りに揺動自由に支持されている。そして、シリコン単結晶薄板 2 2 0 は、検出電極 2 1 6 と所定の間隔を保つように絶縁性基板 2 1 0 上に対抗配置されており、電氣的に接地されている。

## 【 0 0 6 9 】

以上の構成において、シリコン単結晶薄板 2 2 0 に対して垂直な方向に加速度が作用すると、可動部材 2 3 0 に慣性力が作用し、可動部材 2 3 0 は、トーションスプリング 2 2 8、2 2 9 の長軸の回りに回転変位する。可動部材 2 3 0 が回転変位すると、検出電極 2 1 6 との距離が変化するため、可動部材 2 3 0 と検出電極 2 1 6 の間の静電容量が変化する。そのため、検出電極 2 1 6 とシリコン単結晶薄板 2 2 0 の間の静電容量を従来周知の手段で検出することで、加速度を検出することができる。

## 【 0 0 7 0 】

また逆に、検出電極 2 1 6 に電圧を印加すると、可動部材 2 3 0 と検出電極 2 1 6 の間に静電引力が作用し、可動部材 2 3 0 はトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 の長軸の回りに揺動する。つまり、本実施例の加速度センサは、静電アクチュエータとしても使用することができる。

## 【 0 0 7 1 】

上記加速度センサの作製法について、図 1 2 と図 1 3 を用いて、以下に詳しく



述べる。図 1 2 ( a ) ~ ( e ) は図 8 の切断線 2 0 6 における断面を表し、図 1 3 ( a ) ~ ( e ) は図 1 0 の切断線 2 0 9 における断面を表している。

【 0 0 7 2 】

まず、図 1 2 に沿って単結晶シリコン薄板 2 2 0 ( この面方位は問わない ) の加工法を述べる。

1. シリコン薄板 2 2 0 の両面に、マスク層 2 5 0 ( 例えば、レジスト等 ) を成膜し、図 1 0 に示すような形態のシリコン薄板 2 2 0 をエッチングで形成できるようなパターニングをフォトリソグラフィ技術で行う ( a ) 。

【 0 0 7 3 】

2. ICP-RIE のような深掘りエッチング法を用いて、H 字形状のトーションスプリング 2 2 8、2 2 9 のトーションバーと可動部材 2 3 0 と枠部以外のシリコン薄板部分を両面より一定の深さまで垂直エッチングを行う ( b ) 。この深さは、断面が H 字形状の分離した横棒部のトーションバー 2 2 2、2 2 5 の厚さを規定するものである ( この深さの約倍が横棒部の厚さとなる ) 。縦棒部のトーションバー 2 2 1、2 2 3 ; 2 2 4、2 2 4 の厚さは、マスク層 2 5 0 の比較的幅の広い中央のストライプ部の両側の比較的幅の狭い一対のストライプ部の幅で規定される。

【 0 0 7 4 】

3. マスク層 2 5 0 を除去した後に、新たなマスク層 2 5 1 を成膜し、パターニングを行う ( c ) 。この際には、マスク層 2 5 0 のパターニングと異なり、トーションスプリング 2 2 8、2 2 9 の横棒部にはマスク層 2 5 1 は形成されない。

4. 再び、ICP-RIE のようなエッチング法を用いて、垂直エッチングを行う。まず、エッチングは図中下面から行い、2. で掘った場所の深さがシリコン薄板 2 2 0 の厚み中央に達するまで行う ( c ) 。

【 0 0 7 5 】

5. 今度は、2. で掘った場所がシリコン薄板 2 2 0 を貫通するまで図中上面から垂直エッチングを行う ( d ) 。

6. 最後に、マスク層 2 5 1 を除去する ( e ) 。

【 0 0 7 6 】

次に、図 1 3 に沿って絶縁性基板 2 1 0 の加工法を述べる。

1. 絶縁性基板 2 1 0 の両面にマスク層 2 5 2 (レジスト等) を成膜する ( a ) 。

【 0 0 7 7 】

2. 図 1 0 に示すような形態の絶縁性基板 2 1 0 をエッチングで形成できるようにマスク層 2 5 2 をパターンニングする ( b ) 。

3. 凹み部 2 1 2 の深さが  $1.5 \mu\text{m}$  になるように、エッチングを行い、凹み部 2 1 2 を形成する ( c ) 。

【 0 0 7 8 】

4. マスク層 2 5 2 を除去し、凹み部 2 1 2 に検出電極 2 1 6 を蒸着などで形成する ( d ) 。

5. 図 9 に示すような加速度センサの形態になるように、シリコン薄板 2 2 0 とガラス基板 2 1 0 を接合する ( e ) 。

【 0 0 7 9 】

本実施例の特徴である、図 1 1 のような偏平トーションバーを断面形状が H 字状になるように組み合わせたトーシヨンスプリング 2 2 8、2 2 9 においては、偏平トーションバーの曲げ剛性の低い方向が全て平行にならない様に組み合わされているので、全体として曲げ剛性が高くなっている。

【 0 0 8 0 】

また、本実施例によれば、T 字断面のトーションバーと異なり、大きな応力集中が生じないので、同じねじりばね定数、同じ長さのトーシヨンスプリングを考えたときに、より壊れにくいマイクロ構造体を実現できる。また、同じ許容ねじり角で考えると、T 字断面のトーションバーと比べて、より小型のマイクロ構造体を実現できる。更に、単結晶シリコンを素材に使用することで、ポリシリコンに比べて機械的な Q 値が大きいマイクロ構造体を実現でき、断面形状を上下左右対称にすることで、揺動したときに、ねじれの軸に垂直な方向の加振力が生じないマイクロ構造体を実現できる。

【 0 0 8 1 】

また、本実施例によれば、従来よりも壊れにくく、小型化が可能な力学量センサを実現でき、従来よりも機械的なQ値が高く、感度の高い力学量センサを実現できる。更に、揺動時に可動部がねじりの軸に垂直な方向に振動しにくくなるため、ノイズの少ない力学量センサを実現できる。

## 【 0 0 8 2 】

また、本実施例によれば、従来よりも壊れにくく、小型化が可能なマイクロアクチュエータを実現でき、従来よりも機械的なQ値が高いため、共振駆動を行なったときに振幅を大きくすることができ、また、エネルギー効率の高いマイクロアクチュエータを実現できる。更に、揺動時に可動部がねじりの軸に垂直な方向に振動しにくいため、動きの精度が高いマイクロアクチュエータを実現できる。更に、本実施例によれば、比較的容易に本発明のマイクロ構造体を製造することができる。

## 【 0 0 8 3 】

## [実施例 3]

図 1 4 は、本発明の実施例 3 のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図を示している。図 1 5 と図 1 6 は、それぞれ上面図と側面図である。図 1 6 においては、分かりやすくするために、シリコン単結晶薄板 3 2 0 の一部を切断して示している。図 1 7 は、本実施例の特徴であるトーションスプリングの構造を説明するための、図 1 4 の切断線 3 0 6 におけるシリコン単結晶薄板 3 2 0 の断面図を示している。

## 【 0 0 8 4 】

本実施例のマイクロ光偏向器において、シリコン単結晶薄板 3 2 0 には、バルクマイクロマシニング技術により、トーションスプリング 3 2 8、3 2 9 とミラー 3 3 0 が、一体に形成されている。ミラー 3 3 0 の端には、軟磁性体材料からなる可動コア 3 4 1 が固定されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 は、偏平トーションバー 3 2 1、3 2 2、3 2 3 ; 3 2 4、3 2 5、3 2 6 が、図 1 7 の断面図に示すように 3 本ずつ組になって、十字状に配置されることで構成されている。

## 【 0 0 8 5 】

ミラー 3 3 0 は、表面に光の反射率の高い物質がコーティングされており、トーションスプリング 3 2 8、3 2 9 によりその長軸であるねじりの軸の回りに揺動自在に支持されている。

## 【 0 0 8 6 】

ガラス基板 3 4 0 の上には、図 1 5 で示す形状の軟磁性体材料からなる固定コア 3 4 2 が配置されており、この固定コア 3 4 2 をコイル 3 4 5 が周回している。そして、シリコン単結晶薄板 3 2 0 とガラス基板 3 4 0 は、可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 のほぼ平行に対向する面が、所定の間隔を保つように接合されている。すなわち、ミラー 3 3 0 が揺動するとき、これら対向する面がほぼ平行状態を保ったままその重なり面積（可動コア 3 4 1 が、固定コア 3 4 2 で発生する磁束を切る断面積）が変化する様になっている。可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 で 2 つの間隙を含む閉じた直列磁気回路が形成される。

## 【 0 0 8 7 】

図 1 8 を用いて、本実施例の光偏向器の動作について説明する。

コイル 3 4 5 に通電すると、固定コア 3 4 2 が励磁される。図 1 8 では、固定コア 3 4 2 の図中手前側が N 極に、奥側が S 極に励磁されている様子を表している。すると、可動コア 3 4 1 は、上記対向面の重なり面積が増す方向（固定コア 3 4 2 で発生した磁束路に吸引される方向）、即ち図 1 8 の矢印の方向に引き付けられる。可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 は、図 1 6 に示すように、上記対向面の重なり面積が増加できる様に非通電時には高さが異なる状態で配置されているので、トーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の回りに左回りの回転モーメントが生じる。ミラー 3 3 0 の共振周波数に合わせてコイル 3 4 5 への通電を ON/OFF すると、ミラー 3 3 0 がトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の回りに共振を起こす。この状態でミラー 3 3 0 に光線を入射することで、光の走査を行うことができる。

## 【 0 0 8 8 】

次に、本光偏向器の作製方法を説明する。

まず、図 1 9 を用いて、シリコン単結晶薄板 3 2 0 の加工方法を説明する。図中左側は、図 1 4 の切断線 3 0 6 における断面図であり、右側は、切断線 3 0 9

における断面図である。

【 0 0 8 9 】

1. 先ず、シリコン単結晶薄板 3 2 0 の片面に、種電極層 3 6 0 を成膜する。  
(a)。

【 0 0 9 0 】

2. 種電極層 3 6 0 の上に、厚膜レジスト層 3 6 1 (例えば、MicroChem社製 SU-8) を成膜し、フォトリソグラフィ技術で可動コア 3 4 1 形成用のパターニングを行う (b)。

【 0 0 9 1 】

3. 軟磁性体層 3 6 2 を種電極層 3 6 0 の上に電解メッキで成膜する (c)。

【 0 0 9 2 】

4. 厚膜レジスト層 3 6 1 及び種電極層 3 6 0 を除去する (d)。軟磁性体層 3 6 2 の下の種電極層 3 6 0 はそのまま残る。

【 0 0 9 3 】

5. シリコン単結晶薄板 3 2 0 の両面に、マスク層 3 5 0 (例えば、レジスト等) を成膜し、図 1 4 に示す形態の単結晶薄板 3 2 0 形成用のパターニングをフォトリソグラフィ技術で行う (e)。

【 0 0 9 4 】

6. ICP-RIEのようなエッチング法を用いて、両面より一定の深さまで垂直エッチングを行う (f)。この深さは、断面が十字形状のトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の両側の横棒部の厚さを規定するものである。この深さの倍がこの横棒部の厚さとなる。

【 0 0 9 5 】

7. マスク層 3 5 0 を除去し、新たなマスク層 3 5 1 を成膜、及びパターニングする (g)。このパターニングは、マスク層 3 5 0 のパターニングと異なり、トーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の部分は中央の縦棒部のみにストライプ状のマスク層 3 5 1 が残される。

【 0 0 9 6 】

8. 再び、ICP-RIEのようなエッチング法を用いて、下面より垂直エッチング

を行う。エッチングは、6. で掘った場所の深さがシリコン単結晶薄板 3 2 0 の厚み中央に達するまで行う (h)。

【 0 0 9 7 】

9. 更に、ICP-RIEのようなエッチング法を用いて、上面より垂直エッチングを行う。エッチングは、6. で掘った場所がシリコン単結晶薄板 3 2 0 を貫通するまで行う (i)。十字形状のトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 の部分では、両側の横棒部を分離して残した所で止る。中央の縦棒部の厚さ（典型的には横棒部の厚さと等しい）はマスク層 3 5 1 の上下両面のストライプ部の幅で規定される。

【 0 0 9 8 】

10. 最後に、マスク層 3 5 1 を除去する (j)。

【 0 0 9 9 】

次に、図 20 を用いて、ガラス基板 3 4 0 の加工方法を説明する。図 20 は、図 14 の切断線 3 0 7 における断面図である。

【 0 1 0 0 】

1. ガラス基板 3 4 0 の片面に種電極層 3 7 0 を成膜する (a)。

2. 種電極層 3 7 0 の上に厚膜レジスト層 3 7 1 を成膜し、固定コイル 3 4 2 形成用のパターンニングを行う (b)。

3. 種電極層 3 7 0 の上に、コイル 3 4 5 の下配線層 3 7 2 を電解メッキで成膜する (c)。

4. 下配線層 3 7 2 部分以外の厚膜レジスト層 3 7 1 と種電極層 3 7 0 を除去する (d)。

5. 下配線層 3 7 2 の上に、絶縁層 3 7 3 を成膜し、両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 形成用のパターンニングを行う (e)。

【 0 1 0 1 】

6. 絶縁層 3 7 3 の上に、種電極層 3 7 4 を成膜する (f)。

7. 種電極層 3 7 4 の上に厚膜レジスト層 3 7 5 を成膜し、固定コア 3 4 2 である軟磁性体層 3 7 6 と両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 を形成できる様にパターンニングを行う (g)。

8. 厚膜レジスト層 3 7 5 の無い種電極層 3 7 4 の部分上に、軟磁性体層 3 7 6 と両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 を電解メッキで成膜する (h)。

【0 1 0 2】

9. 厚膜レジスト層 3 7 5 と種電極層 3 7 4 を除去する (i)。

1 0. 再び絶縁層 3 7 7 を成膜し、上配線層 3 8 0 形成用のパターンニングを行う (j)。このパターンニングで、絶縁層 3 7 7 は両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 の頂部の所のみ除かれている。

【0 1 0 3】

1 1. 絶縁層 3 7 7 の上に、種電極層 3 7 8 を成膜する (k)。

1 2. 種電極層 3 7 8 の上に厚膜レジスト層 3 7 9 を成膜し、パターンニングを行う (l)。このパターンニングで、厚膜レジスト層 3 7 9 は両側部の配線層 3 8 2、3 8 3 の外部の所のみ除かれている。

【0 1 0 4】

1 3. 種電極層 3 7 8 の上に、上配線層 3 8 0 を電解メッキで成膜する (m)。

1 4. 最後に、厚膜レジスト層 3 7 9 と種電極層 3 7 8 を除去する (n)。

最終的に、図 1 4 に示すような光偏向器の形態になるように、シリコン単結晶薄板 3 2 0 とガラス基板 3 4 0 を接合する。

【0 1 0 5】

本実施例の特徴である、偏平トーションバーを図 1 7 のような断面形状になるように組み合わせたトーションスプリング 3 2 8、3 2 9 においては、偏平トーションバーの曲げ剛性の低い方向が全て平行にならない様に組み合わされているので、全体として曲げ剛性が高くなっている。

【0 1 0 6】

本実施例のトーションスプリングは、T 字断面のトーションバーと異なり、大きな応力集中が生じないので、同じねじりばね定数、同じ長さのトーションスプリングを考えたときに、より壊れにくいという特徴がある。また、同じ許容ねじり角で考えると、T 字断面のトーションバーと比べて、より短いトーションスプリングを提供できる。

## 【0107】

また、単結晶シリコンを素材に使用しているため、ポリシリコンに比べて機械的なQ値が大きい。また、断面形状が上下左右対称になっているため、揺動したときに、ねじれの軸に垂直な方向の加振力が生じないトーションスプリングを実現できる。

## 【0108】

こうして、本実施例によれば、従来よりも壊れにくく、小型化が可能な光偏向器を実現できる。また、本実施例の光偏向器は、従来よりも機械的なQ値が高いため、共振駆動を行ったときに、振幅が大きくエネルギー効率が高い。また、揺動時に可動部がねじりの軸に垂直な方向に振動しにくいいため、精度が高く、安定した駆動が可能な光偏向器を実現できる。

## 【0109】

## [実施例4]

図22は、実施例4の光走査型ディスプレイを説明する図である。X光偏向器401とY光偏向器402は、実施例3の光偏向器と同様のものである。コントローラ409は、X光偏向器401とY光偏向器402を制御して、レーザ光線410をラスター状に走査し、表示する情報に応じてレーザ発振器405を変調することで、スクリーン407上に画像を2次元的に表示する。

## 【0110】

本発明の光偏向器を光走査型ディスプレイに適用することで、従来よりも壊れにくく、小型化が可能な光走査型ディスプレイ、エネルギー効率が高い光走査型ディスプレイ、外乱に強く、安定した表示が可能な光走査型ディスプレイを実現できる。

## 【0111】

## 【発明の効果】

以上に述べた様に、本発明によれば、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置され、該長軸に垂直な面の断面形状が扁平であり、最も撓みやすい方向が交差するように配置された少なくとも2つのトーションバーを含んでトーションスプリングを構成しているので、断面二次極モーメントJが小さいわりに



、断面二次モーメント  $I$  が大きいトーションスプリングを実現することができる。そのため、ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保しながら、ねじれの軸に垂直な方向には剛性の高いマイクロ構造体を実現できる。

## 【 0 1 1 2 】

また、ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保するためのトーションスプリングの長さが短いコンパクトなマイクロ構造体、必要なねじれ角を確保するためのトーションスプリングの長さが短いコンパクトなマイクロ構造体を実現できる

## 【 0 1 1 3 】

また、単結晶を素材に使用すれば、ポリシリコンに比べて機械的な  $Q$  値が大きくてコンパクトなマイクロ構造体を実現できる。更に、上下左右対称の形態にすれば、揺動したときに、ねじれの軸に垂直な方向の加振力が生じないマイクロ構造体を実現でき、応力集中が起きにくいため、壊れにくいマイクロ構造体を実現することができる。

## 【 0 1 1 4 】

また、本発明によれば、トーションスプリングがねじれ方向に十分なコンプライアンスを持つために偏向角を大きくでき、その他の方向には十分な剛性を有するために外乱に強く、より小型化が可能で、単結晶材料を用いる場合は機械的な  $Q$  値を高くでき、揺動したときにトーションスプリングの軸に垂直な方向に振動しにくく、壊れにくいマイクロ光偏向器を実現できる。

## 【 0 1 1 5 】

また、本発明によれば、トーションスプリングがねじれ方向に十分なコンプライアンスを持つために感度を高くでき、その他の方向には十分な剛性を有するために外乱に強く、より小型化が可能で、単結晶材料を用いる場合は機械的な  $Q$  値が高いためにノイズを少なくでき、揺動したときにトーションスプリングの軸に垂直な方向に振動しにくいために精度を高くでき、壊れにくい力学量センサを実現することができる。

## 【 0 1 1 6 】

また、本発明によれば、トーションスプリングがねじれ方向に十分なコンプラ

イアンスを持つためにストロークを大きくでき、その他の方向には十分な剛性を有するために外乱に強く、より小型化が可能で、単結晶材料を用いる場合は機械的なQ値を高くでき、揺動したときにトーションスプリングの軸に垂直な方向に振動しにくいために精度を高くでき、壊れにくいマイクロアクチュエータを実現できる。

【 0 1 1 7 】

更に、本発明の製造方法を用いることで、比較的容易に本発明のマイクロ構造体、マイクロ光偏向器、マイクロ力学量センサ及びマイクロアクチュエータを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施例 1 の光偏向器を説明するための斜視図である。

【図 2】

実施例 1 の光偏向器を説明するための分解図（a）、及びトーションスプリングの縦断面図（b）である。

【図 3】

実施例 1 の光偏向器を説明するための断面図である。

【図 4】

実施例 1 の光偏向器を説明するためのトーションバーの部分の横断面図である。

【図 5】

シリコンの異方性エッチングを説明する図である。

【図 6】

実施例 1 の光偏向器のシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 7】

実施例 1 の光偏向器のガラス基板の作製プロセスを説明する図である。

【図 8】

実施例 1 の変形例の光偏向器を説明するための斜視図（a）、及びトーション

スプリングの横断面図（b）である。

【図 9】

本発明の実施例 2 の加速度センサを説明するための斜視図である。

【図 1 0】

実施例 2 の加速度センサを説明するための分解図である。

【図 1 1】

実施例 2 の加速度センサを説明するためのトーションスプリングの部分の横断面図である。

【図 1 2】

実施例 2 の加速度センサのシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 1 3】

実施例 2 の加速度センサのガラス基板の作製プロセスを説明する図である。

【図 1 4】

本発明の実施例 3 の光偏向器を説明する斜視図である。

【図 1 5】

実施例 3 の光偏向器を説明する上面図である。

【図 1 6】

実施例 3 の光偏向器を説明する一部破断した側面図である。

【図 1 7】

実施例 3 の光偏向器のトーションバーを説明する断面図である。

【図 1 8】

実施例 3 の光偏向器の動作原理を説明する図である。

【図 1 9】

実施例 3 の光偏向器のシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 2 0】

実施例 3 の光偏向器の固定コアとコイルの作製プロセスを説明する図である。

【図 2 1】

本発明のトーションバーの例の断面形状を説明する図である。

【図 2 2】

本発明の実施例 4 の光走査型ディスプレイを説明する図である。

【図 2 3】

従来の光偏向器を説明するための斜視図である。

【図 2 4】

従来の光偏向器を説明するための分解図である。

【図 2 5】

従来の光偏向器を説明するための断面図である。

【図 2 6】

従来の光偏向器を説明するためのトーションバーの部分の断面図である。

【図 2 7】

従来のハードディスク用ジンバルを説明する上面図である。

【図 2 8】

従来のハードディスク用ジンバルを説明するための断面図である。

【図 2 9】

従来のハードディスク用ジンバルの作製プロセスを説明する図である。

【符号の説明】

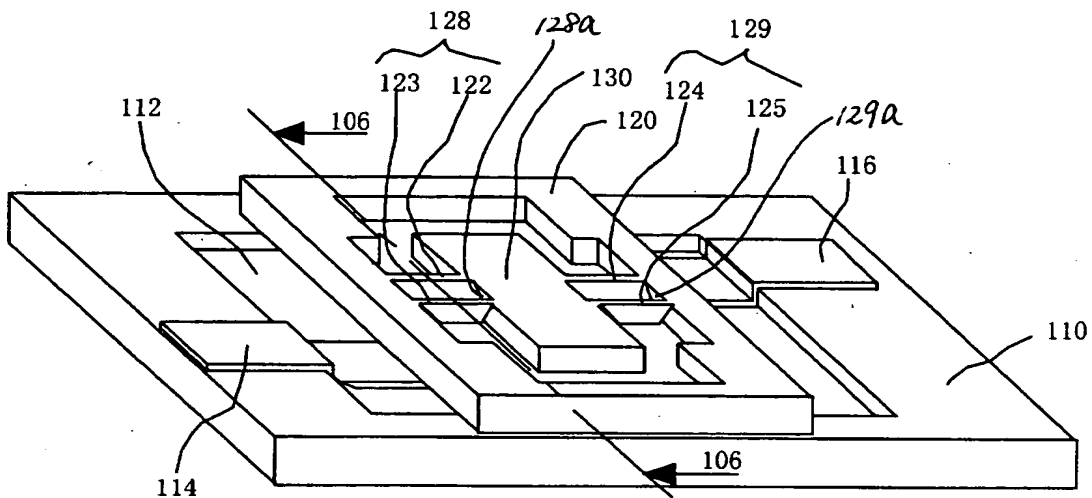
1 1 0、2 1 0、3 4 0	ガラス基板
1 1 2、2 1 2	凹み部
1 1 4、1 1 6	駆動電極
1 2 0、2 2 0、3 2 0、5 2 0	シリコン単結晶薄板
1 2 2～1 2 5、2 2 1～2 2 6、3 2 1～3 2 6	偏平トーションバー
1 2 8、1 2 9、2 2 8、2 2 9、3 2 8、3 2 9、5 2 8、5 2 9	トーシ ョンスプリング
1 2 8 a、1 2 9 a	トーシ ョンスプリングの付け根部の斜面
1 3 0、3 3 0、5 3 0	ミラー
1 3 2	ミラー支持部
1 5 0、1 5 1、2 5 0、2 5 1、3 5 0、3 5 1	マスク層

216	検出電極	
230	揺動部材	
341	可動コア	
342	固定コア	
345	コイル	
360、370、374、378	種電極層	
362、376	軟磁性体層	
361、371、375、379	厚膜レジスト層	
372	下配線層	
373、377	絶縁層	
380	上配線層	
382、383	側部配線層	
401	X光偏向器	
402	Y光偏向器	
405	レーザ発振器	
407	スクリーン	
409	コントローラ	
410	レーザ光線	
1010	絶縁性基板	
1014、1016	駆動電極	
1020	シリコン薄板	
1022、1024、2001、2002	トーションバー	
1030、2011	ミラー	
1032	ミラー支持部	
2020	ジンバル	
2022、2024	ロールトーションバー	
2026、2028	ピッチトーションバー	
2030	ヘッド支持体	
2031	支持枠	

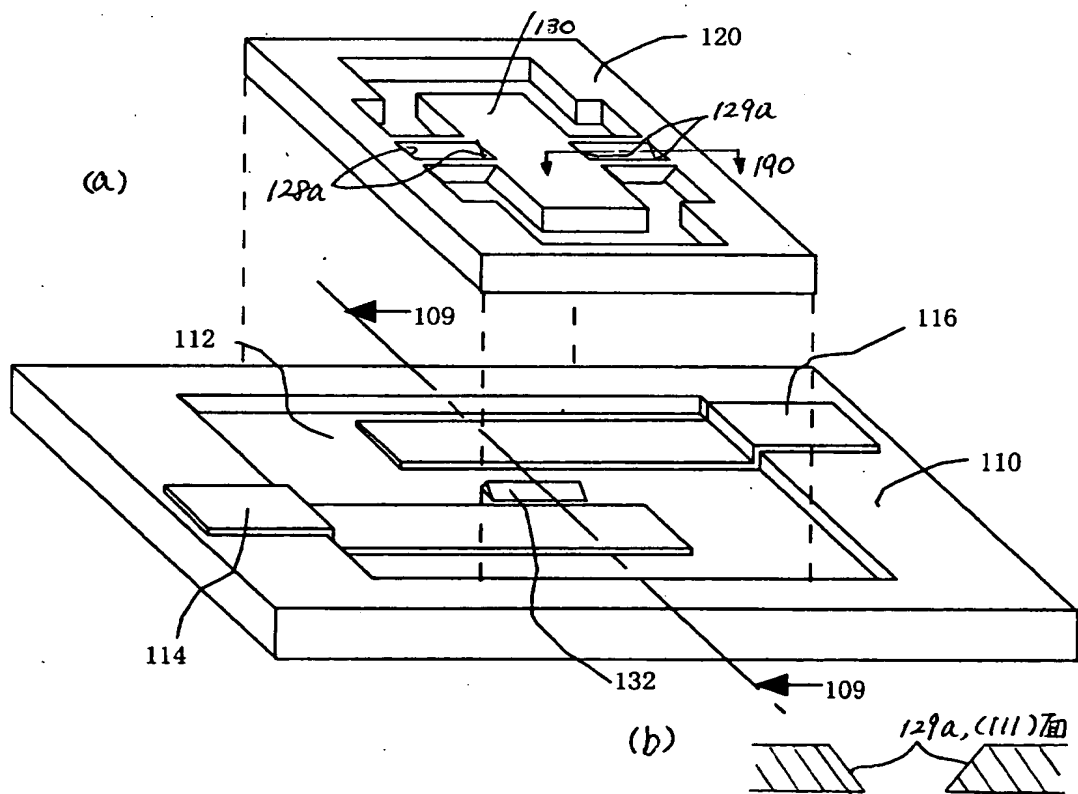
- 2 0 9 1      型取り用シリコンウェハー
- 2 0 9 2      犠牲層
- 2 0 9 3      ポリシリコン層
- 2 0 9 4      エポキシ樹脂
- 2 0 9 5      パッド

【書類名】 図面

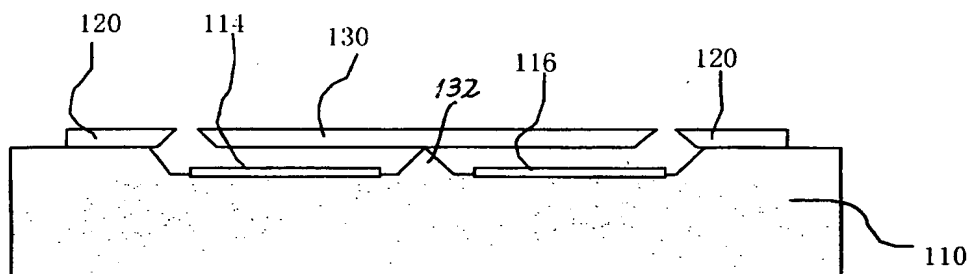
【図 1】



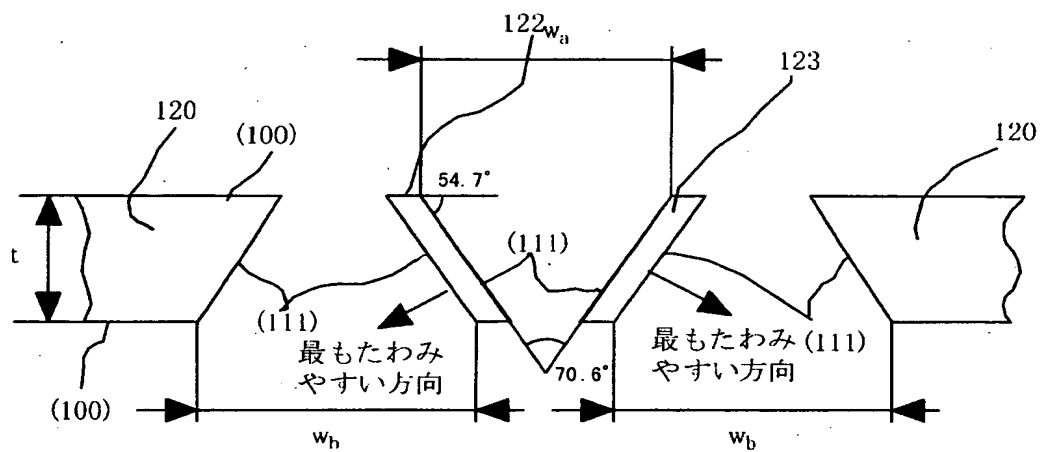
【図 2】



【図 3】

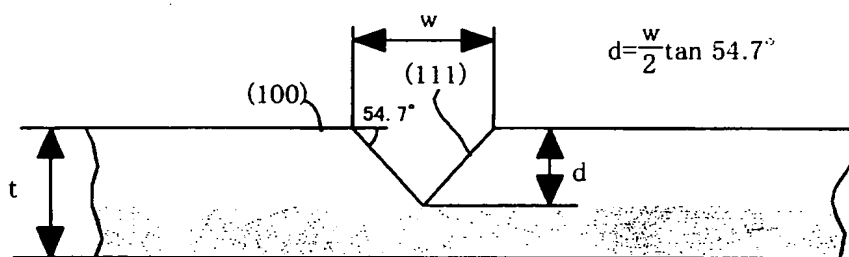


【図 4】

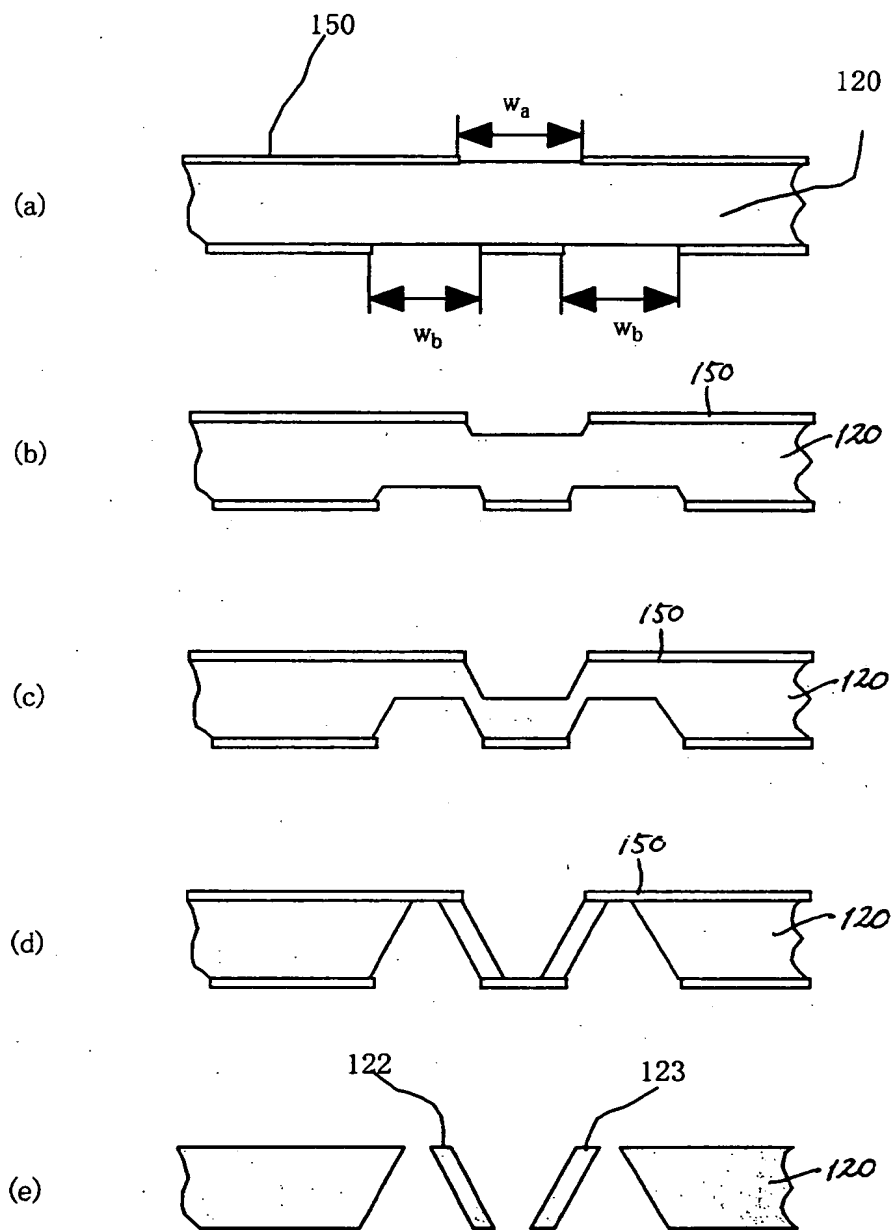




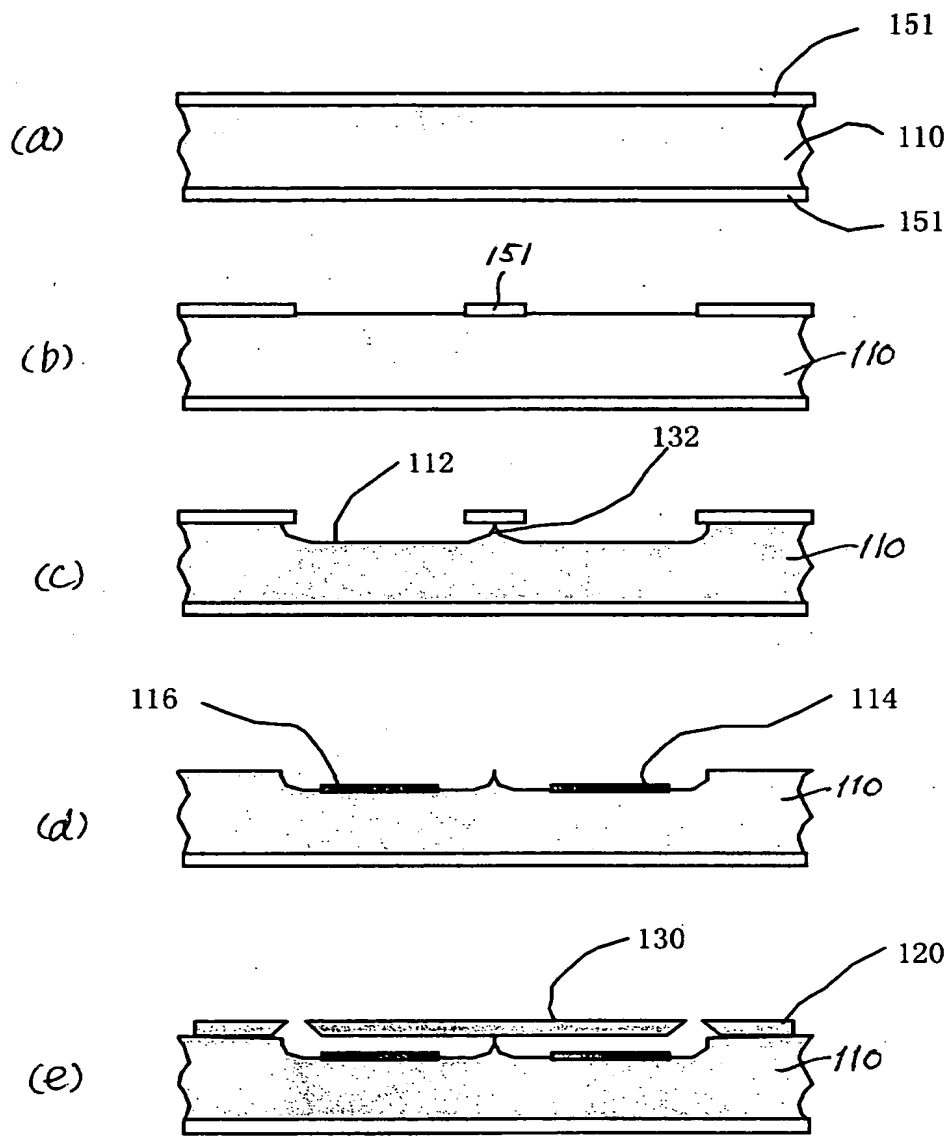
【図 5】



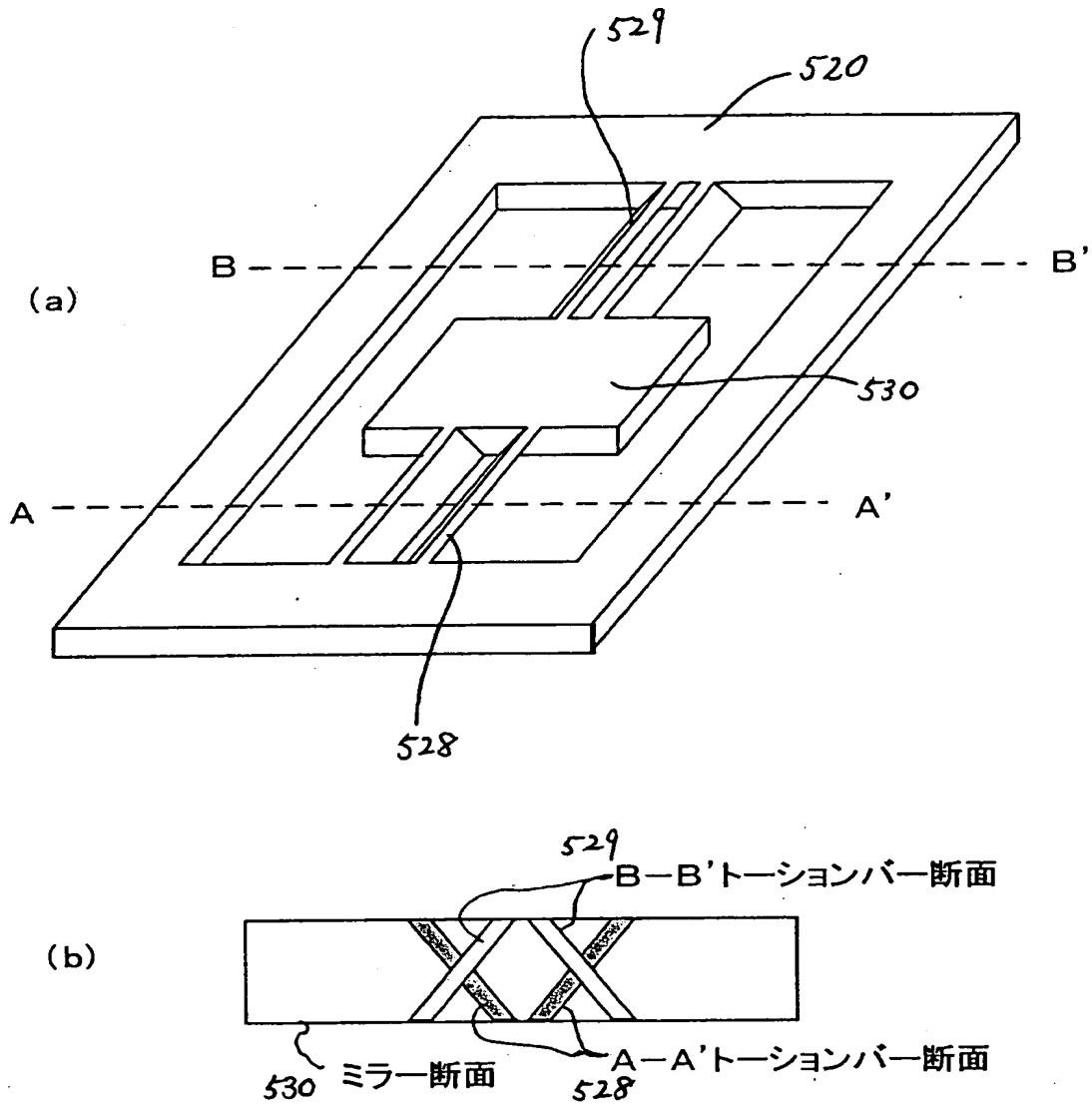
【図 6】



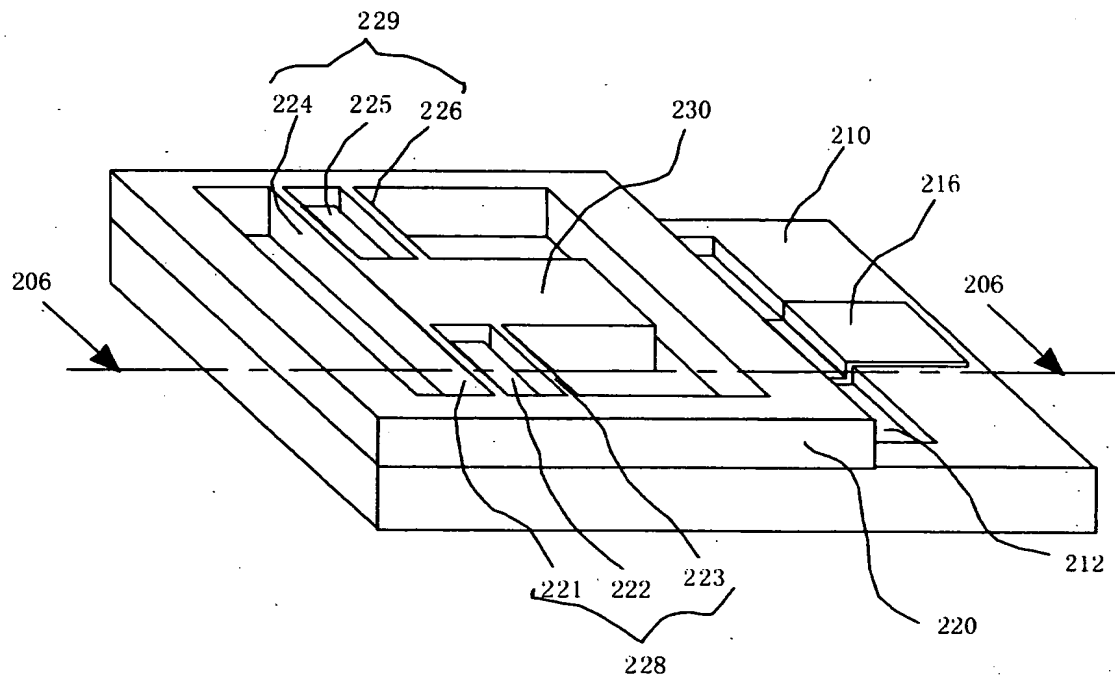
【図7】



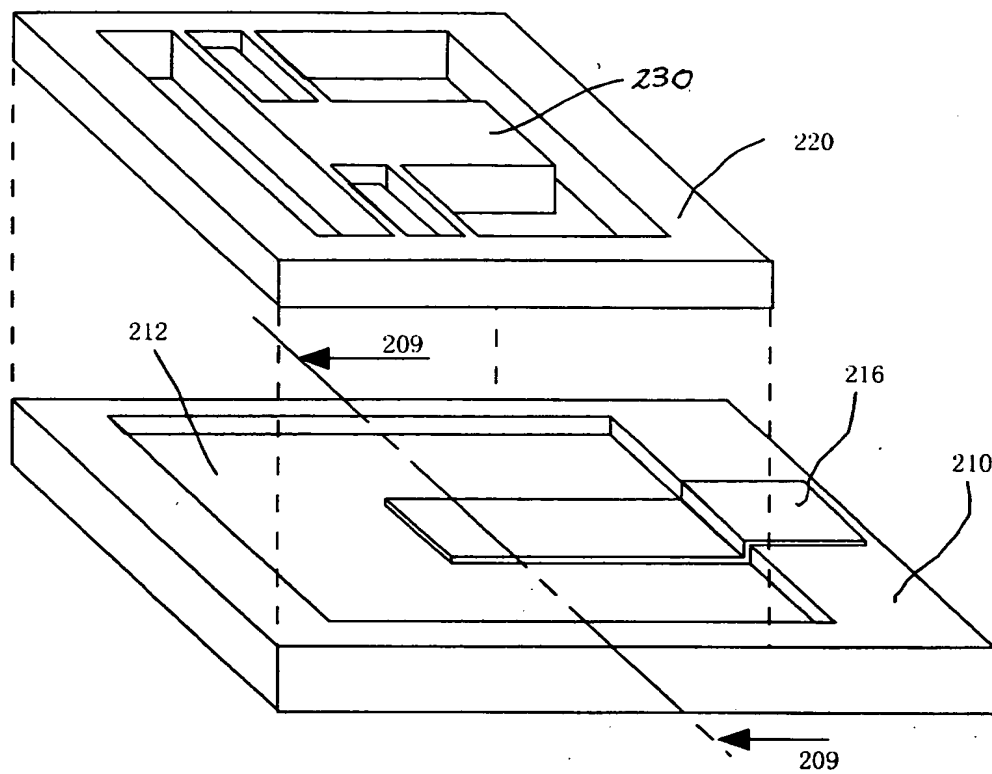
【図8】



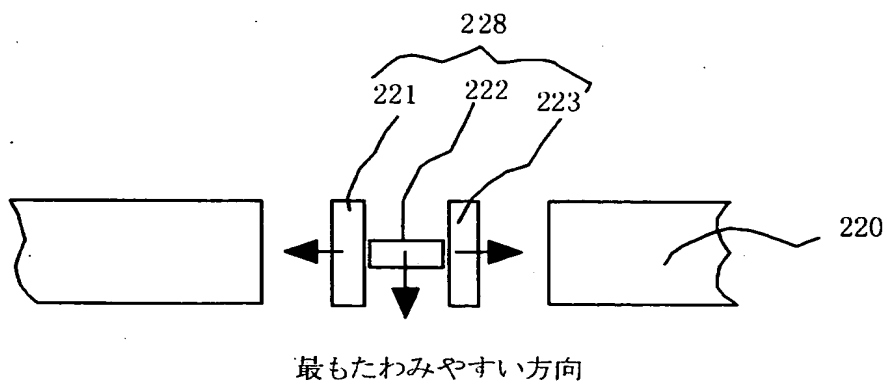
【図 9】



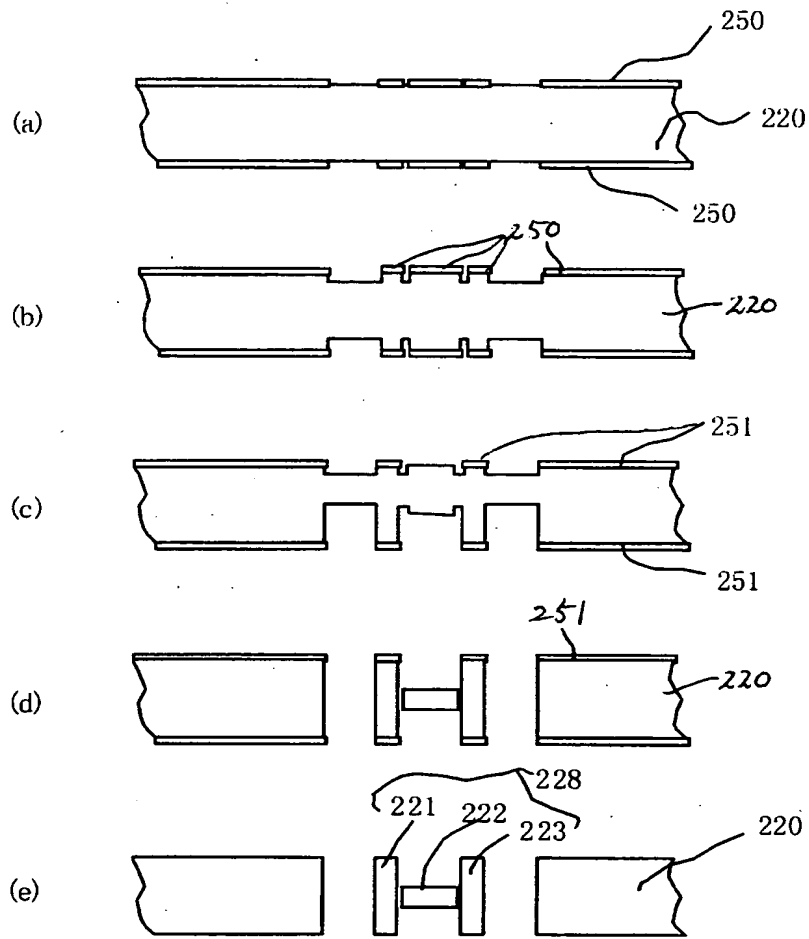
【図10】



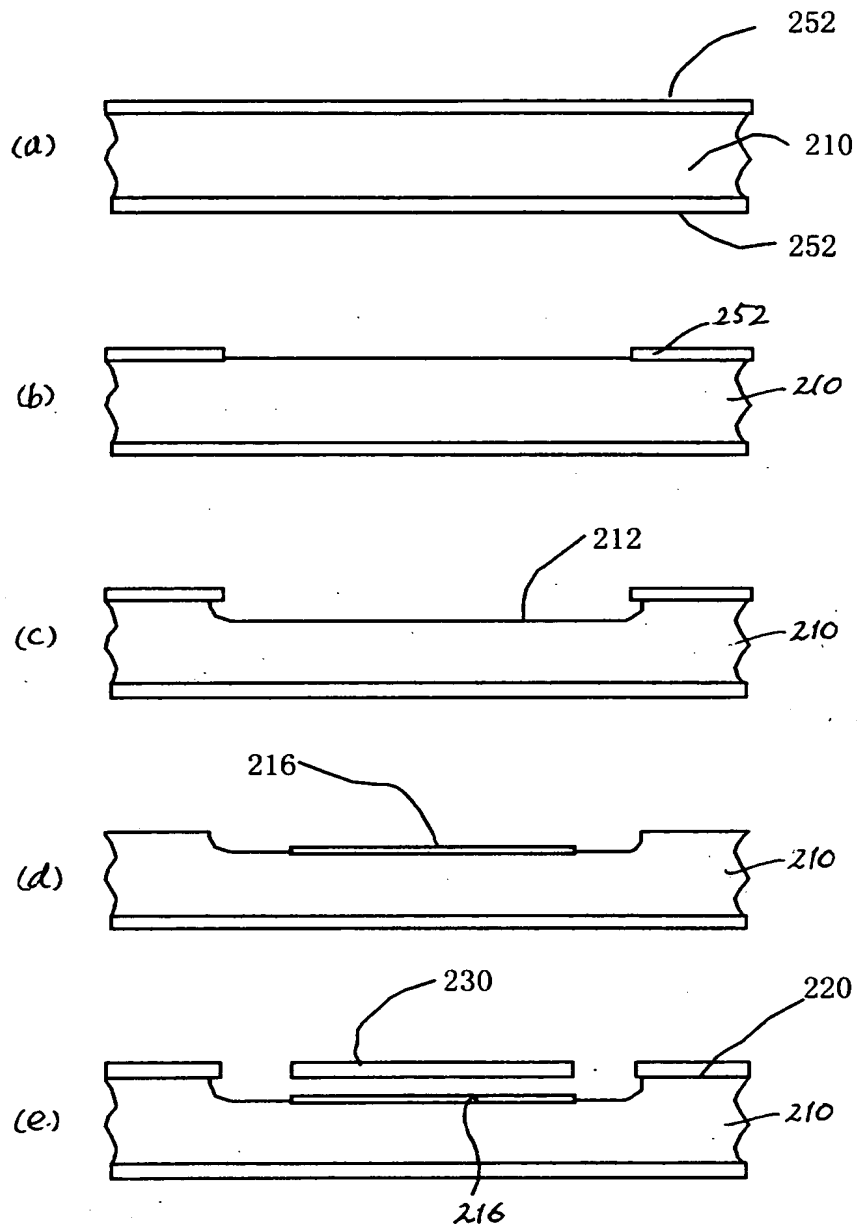
【図11】



【図 12】

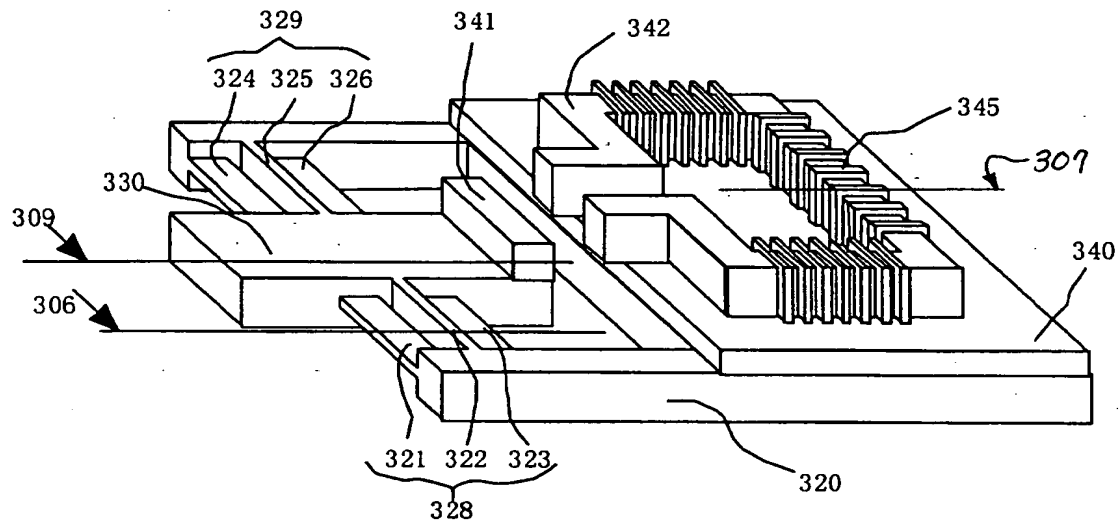


【図 1 3】

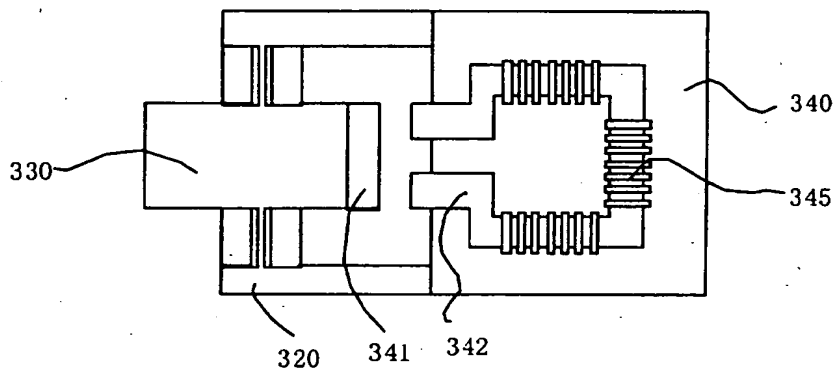




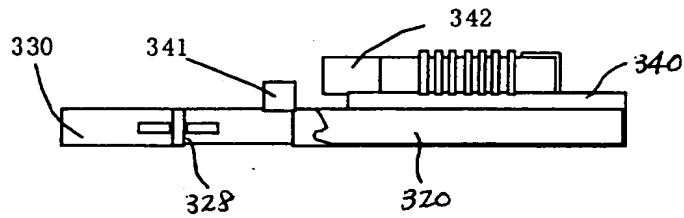
【図 1 4】



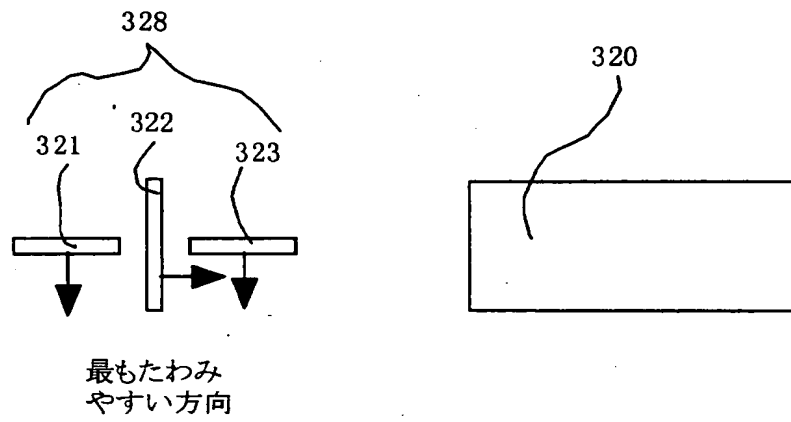
【図 1 5】



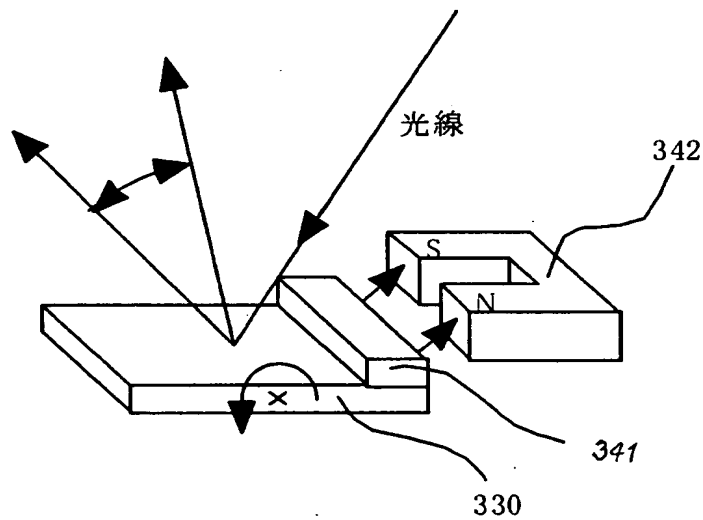
【図 1 6】



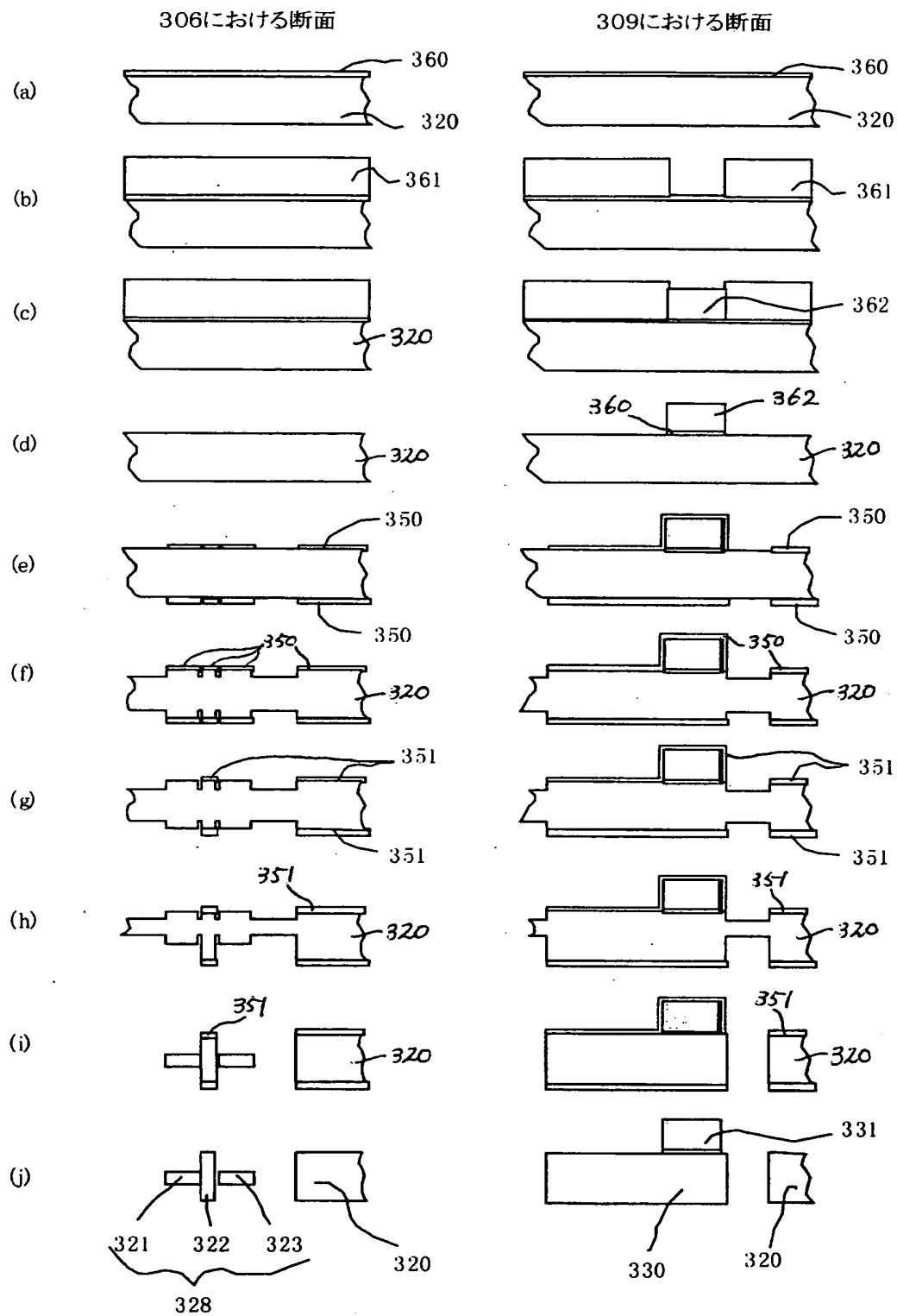
【図 1 7】



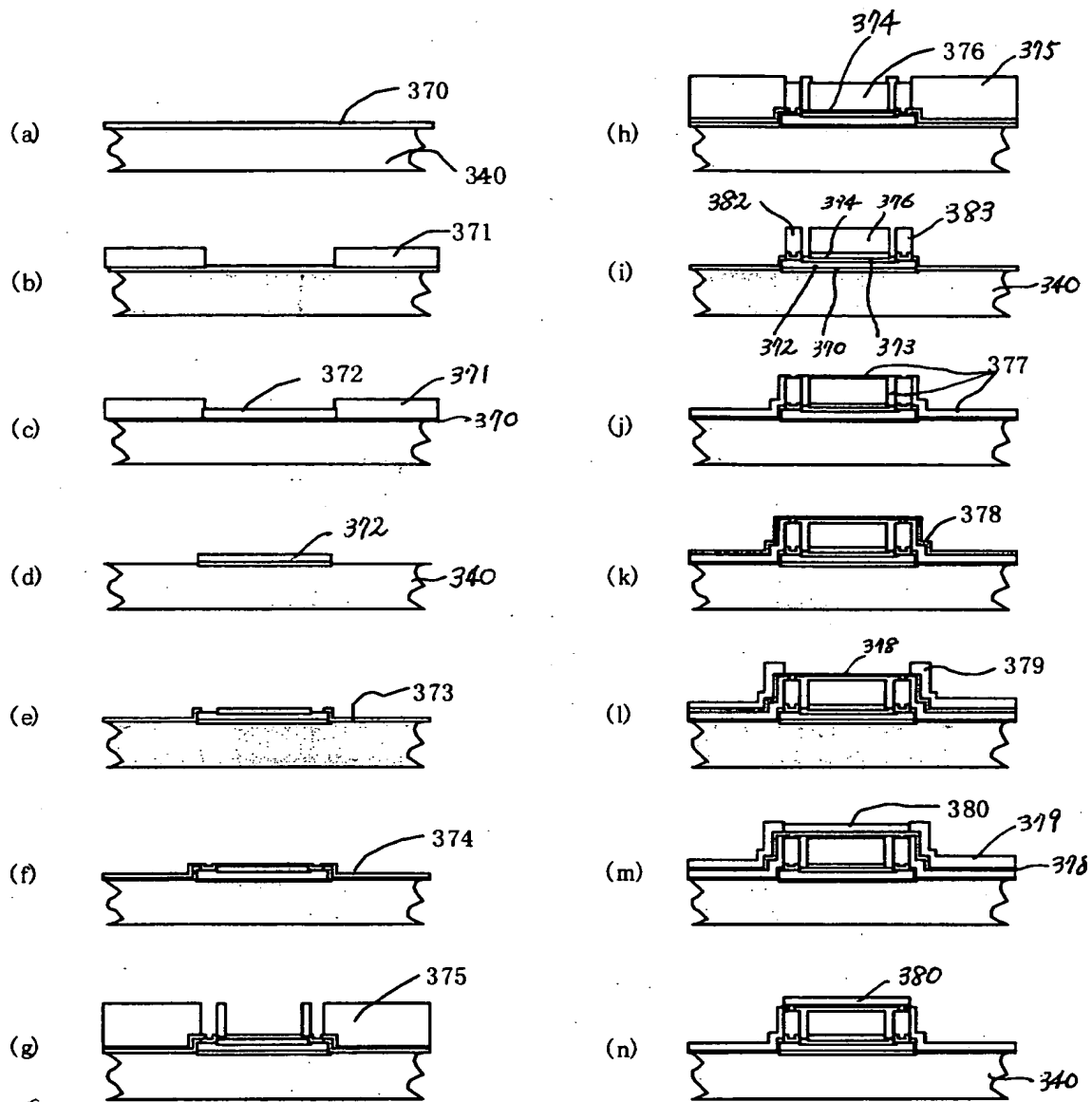
【図 1 8】



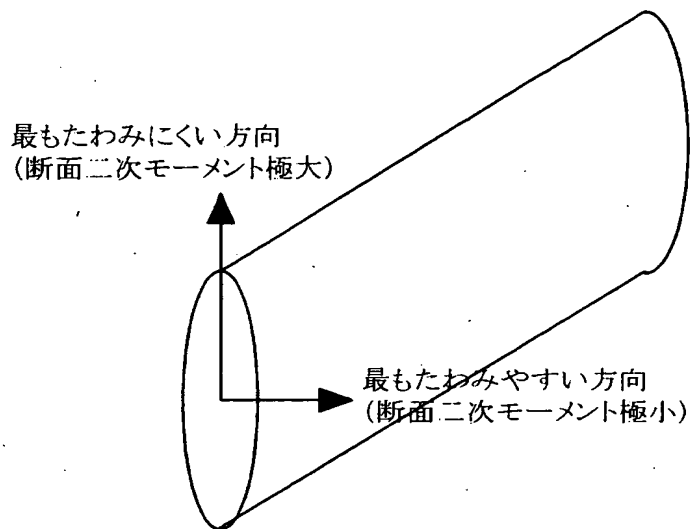
【図 19】



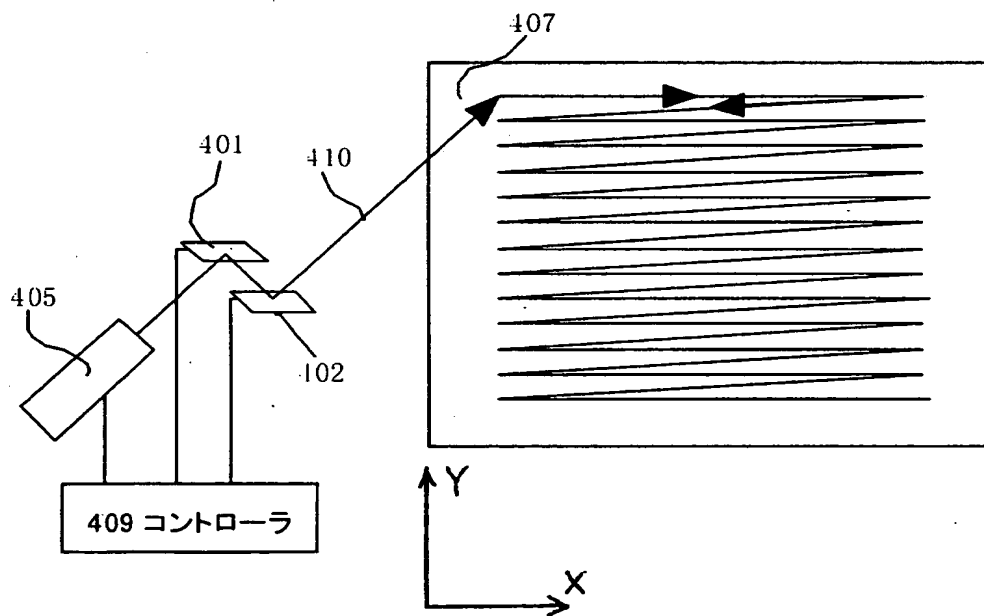
【図 20】



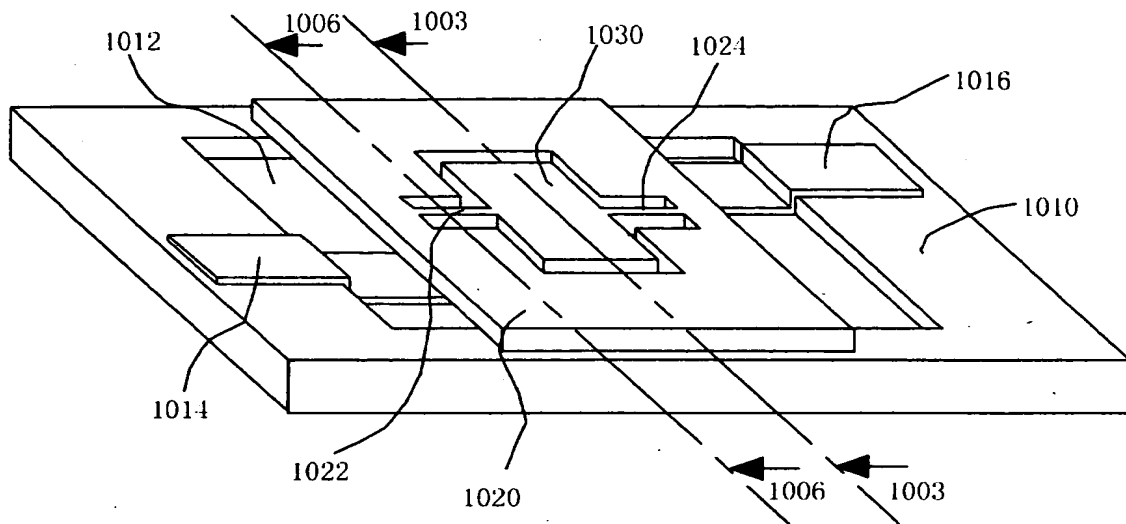
【図 2 1】



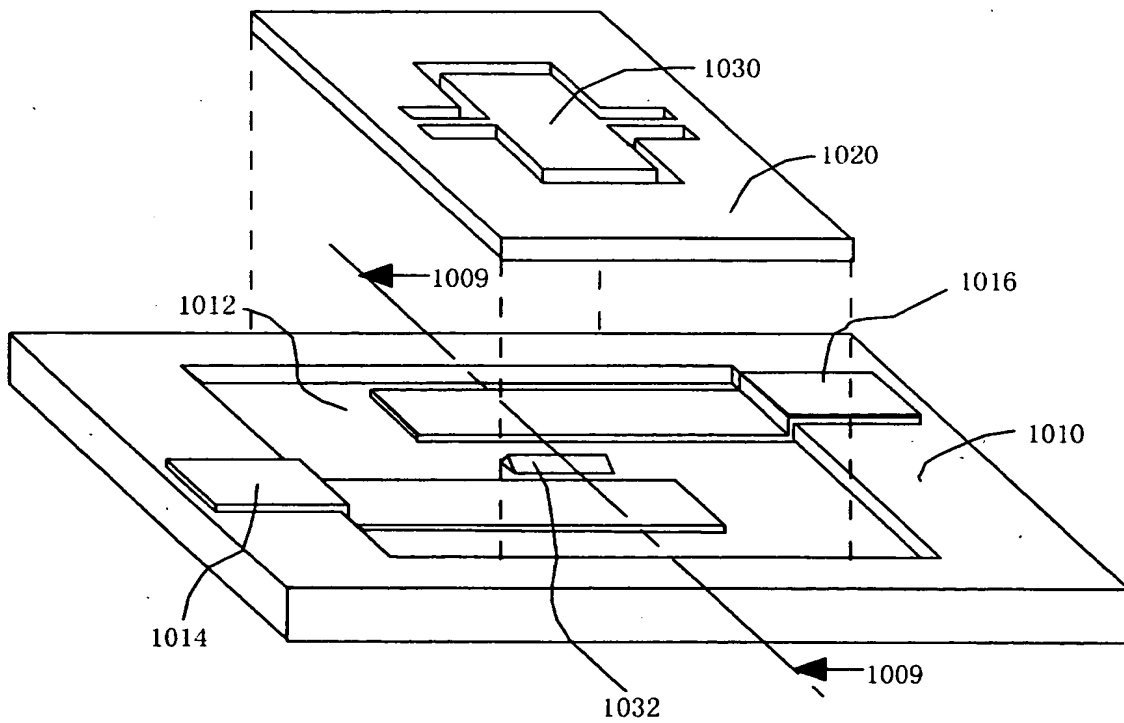
【図 2 2】



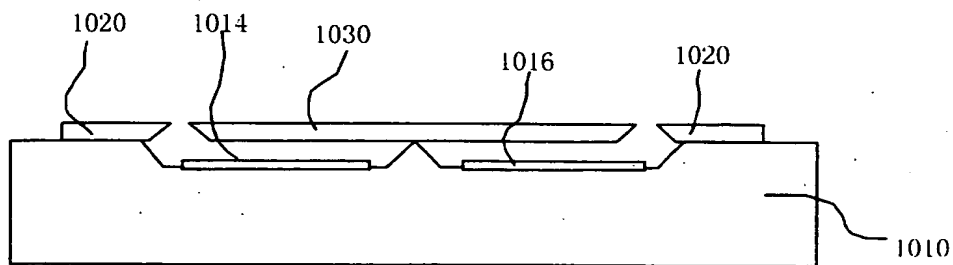
【図 2 3】



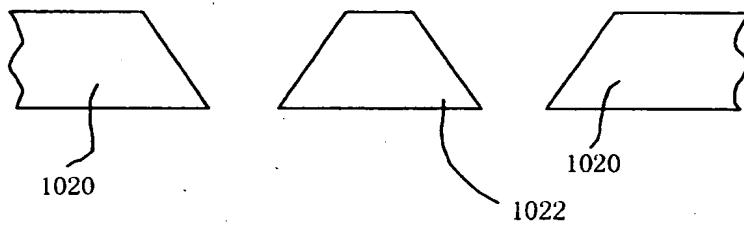
【図 2 4】



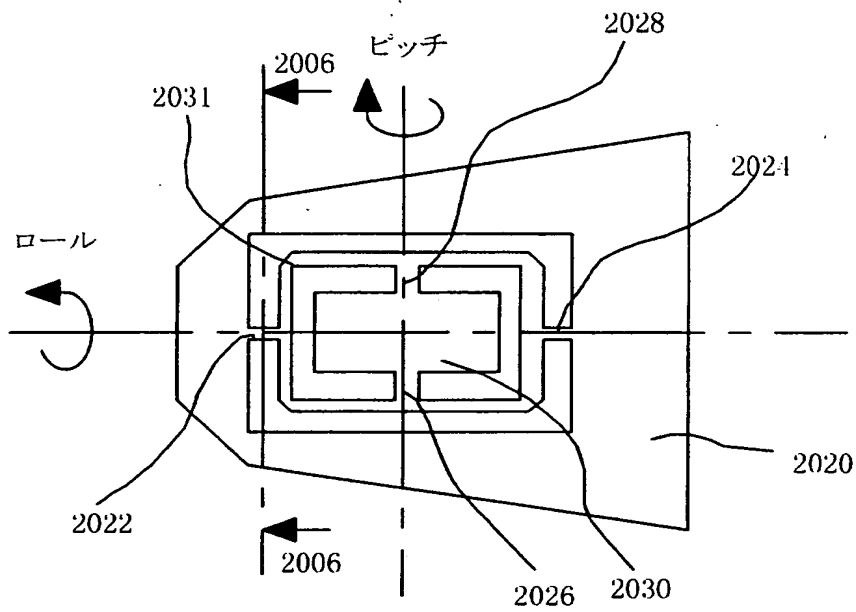
【図 2 5】



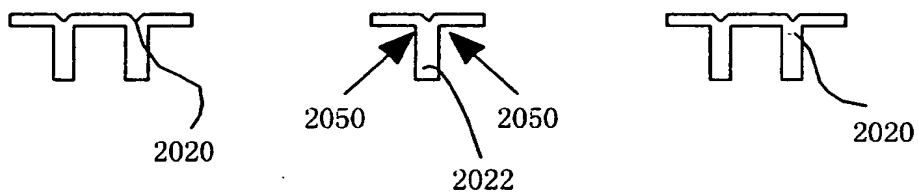
【図 2 6】



【図 2 7】

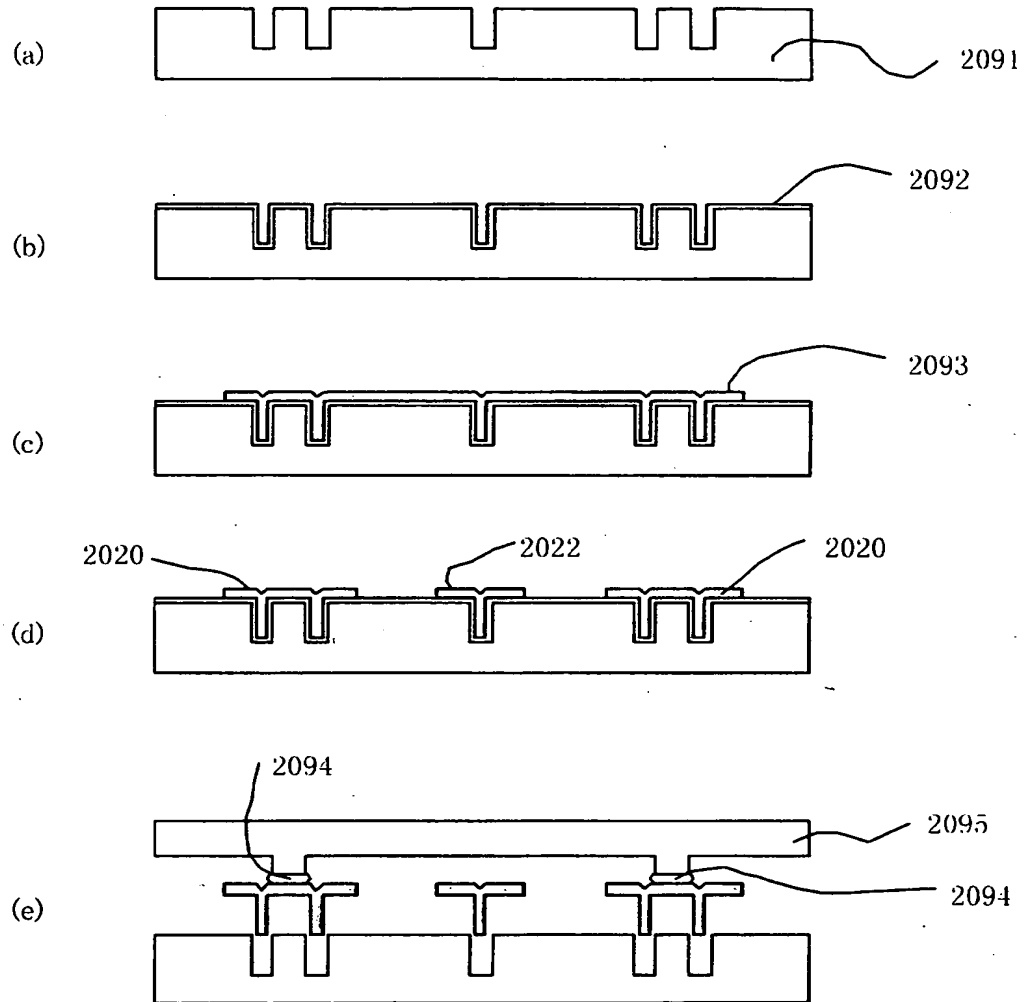


【図 2 8】





【図 2 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保しながら、ねじれの軸に垂直な方向には剛性の高いマイクロ構造体である。

【解決手段】マイクロ構造体は、基板 1 2 0 と、少なくとも一つ以上の揺動体 1 3 0 を有し、揺動体 1 3 0 が複数のトーションバー 1 2 2 ～ 1 2 5 から成る一組以上のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 によって基板 1 2 0 に対して弾性的に揺動自由に支持されている。一組のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 は、互いに長軸が平行であるように並列的に近接して配置され、長軸に垂直な面の断面形状が扁平であり、最も撓みやすい方向が交差するように配置された少なくとも 2 つのトーションバー 1 2 2 ～ 1 2 5 を含む。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-301663
受付番号	50101442216
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成13年10月 4日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000001007
【住所又は居所】	東京都大田区下丸子3丁目30番2号
【氏名又は名称】	キヤノン株式会社

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100086483
【住所又は居所】	千葉県東葛飾郡沼南町大津ヶ丘3-17-10-602
【氏名又は名称】	加藤 一男

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号

氏 名 キヤノン株式会社